

Zum Problem Eishaushalt und Niederschlag im Hochgebirge.

Von Hanns Tollner.

Die Gletscher der Ostalpen befinden sich, wie jeder weiß, in ständigem Rückzug. Der unter unseren Augen erfolgende langsame Auflösungsprozeß der alpinen Vereisung mit seiner augenfälligen Veränderung eines Teiles der Hochgebirgsnatur ist nun nicht ohne Folgen für technische und wasserwirtschaftliche Planungen. Er stellt schließlich auch die große Masse der Bergsteiger vielfach vor neue Probleme.

Die Ursache des allgemeinen Gletscherrückganges, gewissermaßen der „Virus“, der die Gletscherkrankheit als beklagenswertes Naturphänomen hervorruft, ist gegenwärtig trotz zahlreicher Erklärungsversuche noch immer in mystisches Dunkel gehüllt. Seit 1856 verkürzen die ostalpinen Eisströme ihre Länge und erleiden einen ständig anhaltenden Dickenschwund, ohne irgendwelche Anzeichen einer Änderung ihres bisherigen Verhaltens erkennen zu lassen.

Infolge der schon fast 90 Jahre währenden Abnahme der Eisbedeckung der Ostalpen wird das Begehen der Gletscherregion nicht leichter, wie man vermuten könnte, sondern zunehmend schwieriger. Die Gletscherzungen und die Firnflächen zerreißen in stärkerem Maße als früher und bestimmte typische Spalten erreichen im Spätsommer enorme Breiten und Längen.

Auf dem Hofmannskees des Großglockners z. B. legt man im August eine Holzbrücke und Leitern. In älteren Touristenführern lesen wir von leicht begehbaren Schneefeldern, die gegenwärtig im Hochsommer steile Blankeisflächen sind und nun Jahr für Jahr unter weniger Geübten Opfer fordern (Habicht in den Stubaialpen).

Das unterste Stück der Zunge des Großen Goldberggletschers auf dem Rauriser Sonnblick verlor durch einen ausgeaperten Felsquerriegel den Zusammenhang mit den höher gelegenen Teilen der Gletscherzunge und wurde selbständig.¹ Über kurz oder lang wird — um eine Prognose auf dem Gebiete der Glaziologie zu stellen — an einer weiteren höheren Steilstufe dieses Gletschers der eben erwähnte Vorgang nochmals eintreten und die Gletscherzunge neuerdings zerreißen.

Die gegenwärtigen, sich andauernd verringernden Eisstände bieten freilich auch Vorteile. Viele unter Gletschereis liegende Stolleneingänge alter Bergwerke werden frei.

Die Gletscher verschmutzen seit dem Hochstand 1856 in zunehmendem Maße. Mehr und mehr sandiges Moränenmaterial wird bloßgelegt und vom Winde verblasen. (Siehe Abstieg von der Franz-Josefs-Höhe zur Pasterze im Glocknergebiet.) Zunehmende Verschmutzung des Gletschereises bewirkt eine zunehmende Ablation und führt damit zu immer weiterer Abnahme der Vertikalmächtigkeit der Gletscherzungen.

¹ H. Tollner, Vermessungen am Goldberggletscher im September 1938, XLVII. Jahresber. d. Sonnb.-Vereines, 1938.

Im folgenden kann hier aus Raumgründen nicht zu den letzten Erklärungsversuchen der so auffälligen Schwankungen der Alpenvergletscherung Stellung genommen werden. Es wird daher lediglich das Problem Niederschlag im Hochgebirge aufzuhellen versucht, und letzten Endes ergeben sich daraus völlig neue Grundlagen des Eishaushaltes der Ostalpengletscher.

Die Kenntnis der Niederschläge über den Firngebieten eines Gletschers führen wir auf Angaben von Ombrometern und Totalisatoren hochgelegener Meßstellen und Bergwetterwarten zurück. Für den Rauriser Sonnblick (3106 m) beträgt der Niederschlag nach der „Meteorologie des Sonnblicks“ von F. Steinhauser² aus der Periode 1901—1930 im Jahresmittel 1526 mm, aus der Periode 1891—1936 im Durchschnitt 1583 mm. Die mittleren Niederschläge früherer Jahrzehnte beliefen sich auf:

1891—1900	mit	1788	mm
1901—1910	„	1674	„
1911—1920	„	1539	„
1921—1930	„	1368	„
1931—1936	„	1596	„

Diese angeführten Niederschlagssummen wurden in der Glaziologie als durchschnittliche Niederschläge des obersten Firnfeldniveaus im Sonnblickgebiet angesehen und dienten weiters zur Konstruktion der verschiedenen Niederschlagskarten der Ostalpen im Höhenbereich 3100 m.

Anscheinend wurde früher niemals ernstlich die Frage aufgeworfen, ob Jahresniederschläge in der Größenordnung 1500—1700 mm in der ostalpinen Höhenstufe von 3000 m mit den Schneeverhältnissen in den Firngebieten überhaupt in Einklang zu bringen sind. Die aus ungeschützten Ombrometern abgeleiteten Niederschläge des exponierten Sonnblickgipfels unkorrigiert für Firnfelder, also für weitgespannte mehr oder weniger windgeschützte Gletscher-Nährgebiete, zu übernehmen, muß, wie später gezeigt wird, als starke Verkennung der Hochgebirgsverhältnisse angesprochen werden.

Berücksichtigt man die Ergebnisse des 1930 knapp unterhalb des Zittelhauses auf dem Sonnblick aufgestellten Totalisators, so ergibt sich aus derartigen Beobachtungen nach Steinhauser für die Periode 1901—1930 eine Niederschlagssumme von 2500 mm und für 1891—1936 eine solche von 2580 mm. Damit kommt man den wahren Verhältnissen über den Firnflächen schon weit näher. Aber auch letztgenannte Mengen sind als reine Gipfelniederschläge zu betrachten und dürfen nicht als repräsentativ für das oberste Firngebiet des Goldberggletschers erklärt und in einfacher Weise (Höhenreduktion) extrapoliert werden.

A. Defant³ hatte bereits 1908 auf dem Goldberggletscher an verschiedenen Stellen Schneedichtebestimmungen vorgenommen und für Hochschnee eine mittlere Dichte (übereinstimmend mit Okada und Abé) von 0,35 und für Firnschnee von 0,55 festgestellt. Spätere Untersuchungen der Stratigraphie der Schneeablagerungen in verschiedenen Gebieten der Erde gelangten für größere Schneeanhäufungen zu gleichen Resultaten (Welzenbach usw.).

Zuletzt untersuchte A. Steiner⁴ auf dem Sonnblick, weiters auf einer

² F. Steinhauser, Die Meteorologie des Sonnblicks. Verlag Springer, Wien 1938.

³ A. Defant, Schneehöhenbestimmungen auf dem Hohen Sonnblick, Sitzber. d. math.-naturwissenschaftl. Kl. d. Akademie d. Wiss. Wien 1908.

⁴ A. Steiner, Über den Aufbau der Schneedecke. Dissertation an der Universität Wien 1937.

Wiese in Schladming im Ennstal und schließlich im Arlberggebiet den Vertikal- und Horizontalaufbau von Schneedecken. Er benützte u. a. einen Schneestecher mit Schlitz in Abständen von je 2 cm, der eine Verfeinerung des Schneestechers des österreichischen Hydrographischen Zentralbureaus bedeutet, und überdies verwendete er einen elektrischen Eisgehaltmesser, den er selbst nach einer Idee von W. Schmidt gebaut hatte.

Der Eisgehaltmesser beruht auf der Einsinkgeschwindigkeit eines geheizten Körpers in den Schnee und indiziert nicht den Wassergehalt (Schneedichte), sondern den Eisgehalt der jeweiligen Schneeschicht. Die Eiswerte dieses neuen Gerätes stimmten bei Schneetemperaturen von 0 bis -5° recht gut mit den Dichtemessungen des Schneestechers überein und boten interessante Aufschlüsse über die Feinstruktur einer Schneelage.

1937 wurde der erwähnte Eisgehaltmesser von mir auf Spitzbergen überprüft und für Schneelagen bis zu Tiefen von 60 cm als brauchbar gefunden.⁵ Tiefer als 50 bis 60 cm hatte übrigens auch Steiner in den Alpen nicht gemessen, so daß wir praktisch kaum mehr als den obersten Feinaufbau einer Schneedecke kennen.

Die mittlere Schneedichte über einer Wiese in Schladming betrug zwischen 18. Jänner und 18. Februar 1935 aus allen tiefer als 20 cm reichenden Messungen 0,34.

Die Sonnblick-Messungen im Juli-August 1935 ergaben aus allen 28 Proben an verschiedenen Stellen des oberen Goldberggletschers eine mittlere Schneedichte von 0,29, bzw. 0,32, wenn man die am 17. August bei frisch gefallenem, ganz lockerem Neuschnee gefundenen Werte nicht berücksichtigt. Da die Beobachtungen Steiners nicht die gesamte Hochschneesohle erfaßte, sondern nur einen oberen Teil, ist für die mittlere Dichte der Gesamt-Hochschneesohle ein größerer Wert zu veranschlagen. Die meisten Forscher nehmen an, daß die Dichte proportional der Tiefe wegen des Druckes zunehme, während Defant eine logarithmische Kurve für die Dichtezunahme mit der Tiefe berechnete. Wir gehen sicher nicht fehl, wenn wir die mittlere Dichte des Sonnblick-Hochschnees im Jahre 1935 mit dem gleichen Werte, den Defant ermittelte, ausweisen.

Ziehen wir auch noch die von Steiner im Arlberggebiet gewonnenen Resultate heran — sie ergaben sich aus 62 Proben im März 1936 in Höhenlagen zwischen 1800 und 2500 m —, so bestärkt die dort beobachtete mittlere Schneedichte von 0,37 die Annahme einer allgemeinen mittleren Dichte des Hochschnees in den Ostalpen von

0,35.

Wie verhält sich nun die ermittelte Dichte von 0,35 zu den gemessenen Niederschlägen und Schneehöhen? Um diese Frage zu beantworten, müssen wir das Entstehen und Vergehen der hochalpinen Schneedecke im einzelnen betrachten.

Der Nullpunkt der Schneelage im Firngebiet ist der kleinste Wert der Schneedecke während des Jahres. Er basiert auf jener Schneemenge, die nicht mehr abschmilzt, sondern als Überschuß für die Gletscherernährung übrigbleibt. Im Jahre 1939 war dies, wie ich beobachten konnte, am 9. September der Fall. Bis zum 13. September herrschte Schönwetter und dann begann mit den folgenden Schneefällen das neue Glazialjahr, das mit dem Tiefstand der Schneehöhe am 28. September 1940 endete.

⁵ H. Tollner, Aufbau und Eisgehalt von Altschneeflächen in Spitzbergen, 2. Jahresbericht d. Archivs f. Polarforsch. im naturhist. Museum in Wien 1939.

Tabelle I.

Schneehöhen auf dem Goldberggletscher in rd. 3000 m Höhe und monatliche Niederschlagssummen vom 13. 9. 1939 bis 29. 9. 1940 auf dem Gipfel des Sonnblicks.

Datum:	13. 9.	30. 9.	31. 10.	30. 11.	
Schneehöhe in cm:	0	60	200	210	
Niederschlag in mm:	0	107,3	190,5	93,6	
Anmerkung:	(Beginn des Glazialjahres)	(vom 13. bis 30. 9.)			
13. 12.	31. 12.	31. 1.	21. 2.	28. 2.	31. 3.
285	195	210	280	230	410
89,5	106,3	56,0	57,3	57,3	136,2
(vom 1. bis 13. 12.)	(vom 1. bis 31. 12.)		(vom 1. bis 21. 2.)	(vom 1. bis 28. 2.)	(vom 1. bis 31. 3.)
30. 4.	20. 5.	31. 5.	30. 6.	31. 7.	31. 8.
555	655	580	380	180	160
138,5	181,0	225,3	72,5	104,7	121,5
	(vom 1. bis 20. 5.)	(vom 1. bis 31. 5.)			
28. 9.	30. 9.				
110	120				
44,5	54,3				
(vom 1. bis 28. 9.)	(vom 1. bis 30. 9.)				

Am Ende des ein Kalenderjahr + zwei Wochen andauernden Glazialjahres 1939/40 konnte an dem Schneepegel auf dem oberen Goldberggletscher ein Überschuß von 110 cm Schneehöhe als positive Bilanz des Firngebietes festgestellt werden. Die gleichzeitig auf dem Sonnblickgipfel gemessenen Niederschläge betragen 1647,9 mm.

Innerhalb des Gletscherjahres erreichte die Schneesammlung am 20. 5. 1940 mit 655 cm ihre größte Höhe. Vom Nullpunkt am 13. 9. 1939 bis zum Tag der größten Schneehöhe am 20. 5. 1940 waren 1066,7 mm Niederschlag auf dem Sonnblick gefallen, das ist 65 % der Jahressumme.

Niederschlag, Schneehöhe und Schneedichte stehen untereinander in folgenden einfachen Beziehungen:

Niederschlag in cm = Dichte (genauer spezifisches Gewicht) mal Schneehöhe in cm.

Vergleichen wir die Schneehöhe 655 cm mit den Niederschlägen seit Beginn des Glazialjahres bis 20. 5. 1940, so ergibt sich eine mittlere Dichte von lediglich 0,16. Da die errechnete Dichte nur die Hälfte der beobachteten beträgt, folgt daraus, daß der vom Sonnblickgipfel herangezogene Niederschlag etwa 50% zu gering veranschlagt gewesen sein mußte. Wir müssen also wesentlich stärkere Niederschläge in den Gletschernährgebieten der Sonnblickgruppe annehmen, unter Umständen sogar die doppelte Menge.

Gegen diese Annahme kann man einwenden, daß die von Defant und Steiner gefundene Dichte des Hochschnees den sommerlichen Verhältnissen entspricht und nicht jenen in der Zeit der größten Schneehöhe im Mai und weiters, daß die Schneehöhe 655 cm bloß einen einmaligen Extremfall darstellt.

Was die Schneedichte während des Höchststandes der Schneehöhe betrifft, sei darauf hingewiesen, daß zwar aus dieser Zeit keine Sonnblick-Untersuchungen vorliegen, daß aber die Ergebnisse Steiners aus dem Arlberggebiet aus Höhenlagen zwischen 1800 und 2500 m während der Zeit der Maximalhöhe der Schneedecke wohl auch für das Firnfeld des Sonnblicks genommen werden dürfen, zumal auch kein Höheneinfluß auf die Dichte erkannt worden war. Wie bereits früher angegeben, war dort die Dichte des Hochschnees im Mittel 0,37.

Die Arlberger Messungen sind insofern bemerkenswert, als durch sie auch eine jahreszeitliche Verschiedenheit der Schneedichte nicht festgestellt werden konnte. Diese vielleicht nicht ganz erwartete Tatsache läßt demnach schließen, daß für das Verschwinden der Schneedecke die Verdunstung eine hervorragende Rolle spielen muß.

In diesem Zusammenhang sei auch auf die Schneeuntersuchungen von O. Eckel und Chr. Thams⁶ verwiesen, die bei Davos in der Schweiz in 1600 m Höhe zur Zeit der größten Schneeanhäufung im März 1937 eine mittlere Dichte von 0,33 und im April 0,38 beobachteten. Die Schneedichte zeigte dort nach Beginn des Winters einen Wert von rd. 0,3 und erreichte im Mai zur Zeit der Schneeschmelze über 0,4. Bei Davos ließ sich also ein jahreszeitlicher Gang der Schneedichte erkennen, der in den Steinerschen Messungen nicht so deutlich zum Ausdruck kam.

Die Schneehöhen in der nivalen Zone von 3000 m Höhe erreichten — wie der Schneepegel auf dem oberen Goldberggletscher erkennen ließ — im Durchschnitt der Jahre 1940 bis 1945 eine Höhe von 647 cm. Auf dem Fleißkees des Sonnblicks wurden 1928—1934 aus Schneepegelbeobachtungen in 2875 m jeweils zu Monatsbeginn nach der Zusammenstellung von Steinhäuser⁷ im Mittel 5 m als größte Schneehöhen abgelesen, das sind nicht völlig absolute Maxima der Schneedecken, die zwischen den Monatsanfängen lagen und noch etwas höher gewesen sein mußten.

Was nun den Restschnee für die Ernährung des Firngebietes betrifft, zeigte sich dieser, wie nachstehende Zusammenstellung ausführt, recht unterschiedlich.

Tabelle 2.

Schneebilanz des oberen Goldberggletschers.

(Nicht abgeschmolzener Rest der Schneedecke einzelner Jahre.)

Datum:	28. 9. 1940	10. 10. 1941	7. 10. 1942	26. 9. 1943	20. 9. 1944	21. 9. 1945
Schneehöhe in cm:	110	70	10	20	40	40

In dem Eishaushalt der Gletscher bedeuten die vorhin angegebenen Restschneemengen ohne Zweifel nicht das ganze Positivum der Ernährungsbilanz des Gletschers. Irgendwelche Schmelzwässer müssen noch dazu kommen, doch wissen wir quantitativ leider darüber gar nichts.

Schließen wir nun auf die für eine Schneedecke von 655 cm Höhe und mittlerer Schneedichte von 0,35 notwendige Niederschlagsmenge, so kommen wir auf fast 2300 mm. Da vom Beginn der Schneeakkumulation bis zum 20. 5., dem Tag der

⁶ O. Eckel und Chr. Thams, Untersuchungen über Dichte, Temperatur- und Strahlungsverhältnisse der Schneedecke in Davos. Geologie der Schweiz — Geotechnische Serie — Hydrologie. Lieferung 3.

⁷ F. Steinhäuser, Schneehöhenmessungen am Sonnblick und im Sonnblickgebiet. XVII. Jahresber. d. Sonnblick-Vereines 1933.

größten Schneehöhe, erst 65% des Gesamtniederschlags des Glazialjahres gefallen ist, also noch ein Defizit von 35% aussteht, würde eine Ergänzung mit einem Drittel des Niederschlags von 2300 mm zu einer Jahres-Niederschlagsmenge von mehr als 3000 mm im Firnfeldniveau von 3000 m Höhe im Sonnblickgebiet führen. Die Verdunstung ist dabei noch gar nicht eingerechnet.

Den vorstehenden Überlegungen lagen mittlere Dichteverhältnisse des Hochschnees und nicht des Hochfirms zugrunde. Es muß jedoch angenommen werden, daß die unteren Schichten der Schneeakkumulation des Herbstes und Frühwinters durch den Druck der darüberlagernden Schneemassen bereits in Hochfirn übergegangen sind, der eine größere Dichte besitzt als der Hochschnee. Dieser Umstand hat aber zur Folge, daß noch etwas stärkere Niederschläge als die eben erwähnten erforderlich sind, um dem Eishaushalt der Firnmulden zu genügen.

Das Elektrizitätswerk Kaprun berechnete zufolge einer Mitteilung von F. Lauscher aus Abflußverhältnissen der Kapruner Ache für die 3000 m-Höhenstufe ihres Einzugsgebietes ohne Berücksichtigung der Verdunstung einen Mindestniederschlag von 2800 mm im Jahr. Bei gering angenommener Verdunstung bedeutet dies mehr als 3000 mm Niederschlag pro Jahr, das ist genau so viel, als hier in vorliegender Überlegung aus Schneehöhen und Schneedichten abgeleitet werden konnte.

Jenes meteorologische Element, das scheinbar durch regelmäßige Messungen am gesichertsten erscheint — der Niederschlag —, erweist sich als das fraglichste an dem Problem Eishaushalt der Gletscher. Es ist klar, daß gewöhnliche Ombrometer wegen des fehlenden Windschutzes versagen müssen. Aber auch Totalisatoren mit Nipher-Trichtern vermögen nicht der Ernährung des Gletschers gerecht zu werden. Soweit Meßreihen von Totalisatoren vorliegen, lassen sie sich nicht mit Schneeanhäufungen im Hochgebirge in Einklang bringen. Totalisatormessungen sind — um dies vorwegzunehmen — für die Firnfelder nicht repräsentativ. Trotz der großen Seehöhe ihres Aufstellortes bieten sie aus methodischen und aus orographischen Gründen nur niedrigere Randwerte. In der Firnregion verteilen sich nämlich die Niederschläge nach einer Parabel, deren Scheitel im Schwerpunkt des Firnfeldes liegt. Auch die Fehlerquellen bei Totalisatormessungen vermindern die Jahressumme des Niederschlages in nicht unbeträchtlicher Weise, und zwar aus folgenden Gründen:

1. Die Ablesungen erfolgen mittels Abstichmethode in der Regel in langen Zeitabständen (4—6 Wochen) und sind ungenau. Je mehr sich ein Auffanggefäß füllt, desto dünner wird die Chlorkalziumlösung. Der Schnee wird nicht zur Gänze geschmolzen, sondern bildet einen Schneebrei, der nach oben wächst und Schneegupfe verursacht. Aus diesem Grunde kann neu hinzukommender fester Niederschlag nicht mehr restlos im Totalisatorgefäß abgelagert werden, was besonders bei Starkniederschlägen der Fall ist. Schneebrei, bzw. Schneegupfe befinden sich außerhalb der Ölschutzschicht und unterliegen der Verdunstung, die nicht unterschätzt werden darf. Die Gefäße sind für starke Niederschläge viel zu wenig tief. Fällt der schneeige Niederschlag bei starken Winden, so bilden sich oft kleine Schneewächten an der Innenseite des Gefäßes, welche die Speisung des Totalisators verhindern.

2. Bei strenger Kälte läßt sich hin und wieder ein Einfrieren des Gefäßinhaltes besonders bei bereits stärker verdünnter Lösung nicht vermeiden. Das Gefäß füllt sich mit Schnee, der nicht mehr schmilzt, sondern verdunstet. Weiterer Schnee von späteren Niederschlägen kann nicht mehr abgelagert werden und ent-

geht der Messung. Unter Umständen wird sogar noch im Gefäß befindlicher Schnee wieder herausgeblasen.

Lasse ich die eine Verminderung der Niederschläge bedeutenden Fehlerquellen außer acht, so können die Totalisatoren, wie sie jetzt in den Ostalpen auf Berggipfeln, Graten, Moränen und außerhalb des Gletscherbereiches stehen, dennoch nicht reelle Niederschlagswerte für die weiten Firnflächen liefern.

Es muß hier auf längst Bekanntes hingewiesen werden, daß über Steilkämmen, Berggipfeln und hervorstehenden Moränen aus aerodynamischen Ursachen eine Querschnittveränderung der Stromlinien des Windes entsteht, die nicht ohne Folgen bleibt für die Ablagerung des schneeigen Niederschlages. Die Luft strömt im Kammereich rascher und damit wird die aus ihr fallende Schneeeablagerung geringer. In der Regel weht die Luftströmung mit den in Schwebefindlichen Schneekristallen durch die Neigung der Bergflanken nicht horizontal, sondern im Luv schräg nach aufwärts, und dies ganz besonders in Kammhöhe. Der Niederschlag wird gewissermaßen über den Gipfel oder den Kamm gehoben und gelangt nur in irregulärer Art in ein dort aufgestelltes Auffanggefäß. Auf dem Hochkönig (2938 m) kommt dies in den Unterschieden zwischen Ombrometer II an der steilen Westseite und Ombrometer I an der flacheren Ostseite am deutlichsten unter allen Berggipfeln zum Ausdruck.⁸

Tabelle 3.

Quotient Ombrometer II : Ombrometer I in den Wintermonaten 1934—1938.

Dezember	Jänner	Februar	März
0,37	0,29	0,38	0,41

Von den auf Gipfeln und Graten gefallenen Schneemengen sei natürlich zugegeben, daß der nicht durch Winddruck verfestigte Schnee nach Aufhören des Niederschlages überdies noch verblasen und in flacheren Gebieten oder in Leelagen abgelagert wird. In der Hauptsache aber sind verringerter Niederschlag durch die eigenartigen Windverhältnisse die Ursache dafür, daß Grate und Gipfel in Höhen von 2900 bis 3500 m überhaupt nicht recht vergletschern. Der Sonnblick- und der Hochköniggipfel könnten sonst keine Schutzhütten tragen.

Zusammenfassend sei über die Totalisatormessungen gesagt, daß sie entweder unterhalb der Firnregion oder zwar im Firnfeldniveau, aber außerhalb der Nährzone an morphologisch charakteristischen Plätzen stehen, die aus Mangelgründen kein Firnfeld hervorbringen können. Eine Übertragung von Niederschlagswerten aus Totalisatoren lediglich nur mit Seehöhenreduktion auf die weiten Einzugsgebiete der Gletscher ist aus dem bisher Gesagten nicht frei von Widerspruch und damit unrichtig.

Eine Extrapolation von Niederschlagsmessungen aus Gletschernährgebieten auf Randteile, wie Kämme und Gipfel, ist selbstverständlich ebenfalls unstatthaft. Wieviel von der Schneedecke im Firnbecken auf Niederschlag im gewöhnlichen Sinne zurückzuführen ist und wieviel auf Treibschnee von den Graten her, kann nicht entschieden werden. Das Schneewehen spielt sicher für das Entstehen eines Firnfeldes eine große Rolle, doch darf man diesen Umstand auch nicht überschätzen. Die Steilflächen der Kammregion, deren Schneeeablagerungen größtenteils abgeweht werden, umfassen als Schneeproduzent im Vergleich zu den weiten Firnfeldern nur ein relativ kleines Flächenausmaß.

⁸ H. Tollner, Niederschlagsverhältnisse der Übergossenen Alm auf dem Hochkönig. XLVI. Jahresber. d. Sonnblick-Vereines 1937.

Um über den Wert der Totalisatoren keine unrichtige Vorstellung zu erhalten, sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß sie zur Erfassung des Hochgebirgsniederschlags weitaus geeigneter sind als gewöhnliche Ombrometer. In diesem Zusammenhang darf bemerkt werden, daß es erstrebenswert wäre, weitere Totalisatoren an verschiedenen typischen hochgelegenen Stellen der Zentralalpen aufzustellen. Hier könnte einem recht empfindlichen Mangel abgeholfen werden. Eine vermehrte Aufstellung von Totalisatoren würde auch wertvolle Anhaltspunkte für die keineswegs gelöste Frage bieten, warum gewisse zentralalpine Gebiete in der 3000 m-Höhenstufe vergletschern und manche wieder nicht.

Ohne auf das ganze Problem der Niederschlagsmessungen mittels horizontal gerichteter Auffangflächen im Gebirge näher einzugehen, ist wohl klar, daß selbst im Firnfeld stehende Niederschlagsgeräte mit Windschutz nicht völlig die Frage der Anhäufung des Schnees im Firnfeld, d. i. die Ernährungsangelegenheit des Gletschers, lösen können. Das Schneewehen in allen Arten bei niederschlagführenden Winden, das eine geneigte Schneedecke hervorruft, kann, wie allgemein bekannt ist, von hochgestellten horizontalen Auffanggefäßen nicht adäquat erfaßt werden.

Auch jener Schnee, der auf Graten und Kämmen gefallen ist und schließlich als sekundärer Niederschlag auf die Firnfelder geweht wird und in beträchtlicher Weise den Eishaushalt des Sammelbegriffes Gletscher beeinflußt, ist nicht mit Niederschlagsmessern zu ermitteln.

Zur Klärung der Vorgänge im Firnfeld sollten neben bisherigen Methoden der Niederschlagsmessung noch folgende Beobachtungen angestellt werden: Tägliche Schneeablagerungen hinsichtlich Quantität und Qualität, Veränderungen der Schneedecke in Höhe und Aufbau so oft es das Wetter zuläßt, Untersuchung der Sicker- und Ablaufwege des Schmelzwassers, die Frage der Verdunstung der einzelnen Schneearten usw.

Die Aufstellung von Totalisatoren inmitten eines Firngebietes kann nicht allzu große Schwierigkeiten bereiten. An die Wartung würden freilich größere Anforderungen gestellt. Die Totalisatoren müßten irgendwie auf Schlitten verankert sein und nach oben verschiebbare Auffanggefäße erhalten und öfter abgelesen werden. Neigungsänderungen der Gefäße wären aufmerksam zu korrigieren. Die Wanderung des Totalisators mit dem Firneis nach abwärts könnte für mehrere Jahre wegen der Geringfügigkeit des Bewegungsbetrages übersehen werden.

Wie ungenügend eigentlich Totalisatoren den Hochgebirgsniederschlag anzugeben vermögen, zeigen jene vom Alpenverein im Bereich des Hintereis- und Vernagtfeners aufgestellten Geräte. Die größte mittlere Jahresmenge wurde auf dem Vernagtfener (2970 m) mit 1381 mm in den Jahren 1926/27—1936/37 beobachtet. E. Ekhart,⁹ der die Meßergebnisse verarbeitete, meinte ursprünglich in dieser Menge sogar noch darin zum Teil vom Boden aufgewirbelten und im Auffanggefäß abgelagerten Schnee zu erblicken, später jedoch nicht mehr.

Mit der Frage des Niederschlages im Hochgebirge mußten sich auch zwangsläufig die Verfasser von Niederschlagskarten beschäftigen. In welcher Weise sie den hochalpinen Niederschlag zu erkennen glaubten, sei an einigen wenigen Beispielen charakterisiert.

⁹ E. Ekhart, Die klimatischen Verhältnisse des Ventertales, Festgabe d. Zweiges M. Brandenburg d. D. A. V. zum 40jähr. Bestehen, München 1939; Beitrag zur Kenntnis der Niederschlagsverhältnisse der Hochalpen, Zeitschrift f. angewandte Meteorologie Nr. 56.

In den Niederschlagskarten der Klimatographien der einzelnen österreichischen Bundesländer, die vom Hydrographischen Zentralbureau im Ministerium für Land- und Forstwirtschaft gezeichnet worden sind, fällt das Glockner- und Sonnblickgebiet nach der Periode 1876—1900 in die Abstufung 1800—2000 mm. Die Niederschlagskarte von Österreich für den Zeitraum 1901—1925 des Hydrographischen Zentralbureaus gibt für die hochgelegenen Teile des Sonnblickgebietes 2000 bis 2200 mm Niederschlag an, für die Tuxer-, Stubai- und Ötztaleralpen in den höchsten Bereichen wieder nur 1800—2000 mm.

Steinhaus¹⁰ hatte bereits 1934 die Ansicht geäußert, daß „die bisherige Ansicht über die große Niederschlagsarmut des Zentralalpenzuges einigermaßen revisionsbedürftig ist“, doch trug man dem bisher keine Rechnung.

Knoch und Reichel¹¹ wiesen in ihrer Niederschlagskarte der Alpen für das Sonnblickgebiet lediglich 1600—2000 mm und für die Stubai- und Ötztaleralpen 1400 bis 1600 mm aus, genau so viel wie für die Hohe Wand (1135 m) im Lee der Ostalpen am Rande des trockenen Steinfeldes.

Die Unzulänglichkeit der Niederschlagskarten im Hochgebirge wird vielleicht am augenfälligsten in der Karte von Reichel im Atlas des Deutschen Lebensraumes in Mitteleuropa erkannt, in der die Hochregion der Ötztal- und Stubai- alpen gar nur 1200—1400 mm im Jahre empfangen sollen.

Wie in dieser Untersuchung gezeigt werden konnte, verlangt die größte Schneehöhe im zentralalpinen Höhenbereich von 3000 m rund zwei Drittel des Gesamtniederschlags des Glazialjahres, der praktisch dem Jahresniederschlag gleichzusetzen ist. Die Niederschlagsstufe 1200—1400 mm in den tirolischen Zentralalpen würde demnach bei Niederschlägen zwischen 800—933 mm vom Beginn des Glazialjahres an gerechnet ihre größte Schneehöhe erreichen. Entsprechend einer mittleren Dichte des Schnees von 0,35 entstünden dann maximale Schneehöhen von 229—267 cm. Eine derartig geringe Schneeanhäufung wäre nicht in der Lage, in den relativ flachen Firmmulden den Sommer zu überdauern. Von einer Vergletscherung könnte erst recht nicht die Rede sein. 267 cm Schneehöhe verschwand auf dem Sonnblick in 34 Tagen (vom 20. 5. bis 24. 6. 1940).

Der Windeinfluß auf Niederschläge ist indes nicht nur in den nivalen Zonen so bedeutungsvoll. Auch Gipfel und Steilkämme in geringeren Höhen erhalten aus aerodynamischen Ursachen verringerten Niederschlag. Im März 1942 wurde auf dem Feuerkogel (1577 m) vom Beobachter Max Schönberger von der Wetterstation hangabwärts ein Profil von 14 Schneehöhen- und Schneedichtebestimmungen gelegt. Die mittlere Dichte und die mittlere Schneehöhe dieser Meßreihe, die über Stellen geringerer und stärkerer Schneeanhäufungen führte und daher wirklich mittlere Schneedeckenverhältnisse widerspiegelte, stimmten mit dem vom Ombrometer gemessenen Niederschlag nicht überein. Die vorhandene Schneelage erfordert eine beträchtlich größere Niederschlagsmenge, als das Niederschlagsgerät anzeigte.

Dieser Umstand bedeutet aber, daß auch in niedrigeren Teilen der Ostalpen größere Niederschläge fallen, als an windexponierten Meßstellen erkannt wird.

¹⁰ F. Steinhaus, Neue Ergebnisse von Niederschlagsbeobachtungen in den Hohen Tauern (Sonnblickgebiet), Met. Zeitschr. 1934.

¹¹ K. Knoch und E. Reichel, Verteilung und Jahresgang der Niederschläge in den Alpen, Preuß. Met. Institut. Abhandl. Bd. IX, Nr. 6, 1930.

Zusammenfassung.

Die bisher aus Niederschlagsmessungen abgeleitete auffallende Niederschlagsarmut der Zentralalpen Österreichs steht in krassem Widerspruch zu gewissen Beobachtungstatsachen. Um die Niederschlagswerte dieser Gebiete zu überprüfen, wurde aus beobachteten Schneehöhen und gemessenen Schneedichten der dazu erforderliche schneeige Niederschlag berechnet und gefunden, daß die allgemein verbreitete Ansicht eines relativ sehr geringen Jahresniederschlages im Zentralalpenkamm nicht zu Recht besteht.

Ohne die Verdunstung zu berücksichtigen, verlangt der Eishaushalt der Gletscher in den Nährgebieten 3000 mm Niederschlag im Jahr, d. i. im allgemeinen rund die doppelte bisher veranschlagte Menge.

Die aus den vermeintlichen Niederschlägen der Hochregion resultierenden Schneehöhen könnten in den verhältnismäßig flachen Firnfeldern der Ostalpen nicht den Sommer überdauern — eine alpine Vergletscherung wäre unmöglich — und die derzeitige Vereisung würde relativ schnell verschwinden.

Der Grund für die Verkennung der hochalpinen Niederschläge ist darin zu erblicken, daß aus instrumentellen und orographischen Ursachen die derzeitigen Methoden der Niederschlagsmessungen nicht den wahren Niederschlag der weiten Firnflächen anzugeben vermögen.

Auch die weniger hohen Berggruppen mit Steilformen erhalten, soweit sie von windexponierten Meßorten beurteilt werden, wesentlich mehr Niederschläge, als angenommen wird.

Die Grundlagen des ostalpinen Eishaushaltes, der Energievorrat für wasserwirtschaftliche Projekte, stellen sich quantitativ nunmehr ganz anders dar, als wie man bis jetzt annahm. Nicht zuletzt müssen natürlich auch künftige Niederschlagskarten von Österreich, die als Grundlagen für die verschiedensten Zwecke dienen, in großen Flächen ein völlig geändertes Aussehen erhalten.

Zur Morphotektonik des Koralpenostrandes.

Von Peter Beck-Mannagetta.

Im Laufe meiner heurigen geologischen Kartierungen sind bei der Begehung der Tertiärgrenze der weststeirischen Koralpe verschiedene Beobachtungen gemacht worden, die ich als morphotektonische Studie über ein engbegrenztes Gebiet, wie dies Kober [11] in anschaulicher Weise zum erstenmal für den gesamten europäischen Raum ausführte, zur Darstellung bringen will.

Alte Tektonik.

Zwei alte tektonische Grundzüge, die sich in ihrer zeitlichen Stellung noch nicht trennen lassen, stellen das morphologische Gerippe der Koralpe dar.

Das wichtigste tektonische Element ist die Ausbildung des sogenannten „Koralpenstreichens“ in NW—SO-Richtung. Das Streichen verläuft nicht einheitlich in dieser Richtung, sondern weicht im N mehr gegen W—O, im S gegen N—S zu ab, so daß im großen gesehen ein schwach fächerförmiger Verlauf der Streichrichtungen angedeutet wird. Die Entstehung wird nach Kieslinger [8] auf einen gegen SW geworfenen Faltenbau zurückgeführt, während Cloß [4] und Beck [2] eine mehr N, bzw. NO gerichtete Bewegung annehmen. Die langen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1948

Band/Volume: [90](#)

Autor(en)/Author(s): Tollner Hanns

Artikel/Article: [Zum Problem Eishaushalt und Niederschlag im Hochgebirge. 3-12](#)