

diesen Vorgang ist die Zunahme des Abbruches der Zunge des Marzellferners zurückzuführen. Bei größerem Widerstande des Seebodens wäre eine weitere Ausdehnung des Stausees auf den Sander zu erwarten gewesen. Mit dem nunmehr erfolgten Einbruche des Seebodens hat der Stausee voraussichtlich endgültig zu bestehen aufgehört.

Die sonstigen Veränderungen am Schalfferner behandelt mein im Rahmen der alljährlichen Gletschermessungen erstatteter Bericht S. 196.

Über einige Gletscherwindmessungen in den Öztaler Alpen¹⁾

Von E. EKHART, Innsbruck

(Mit 4 Figuren)

Eine besondere Gruppe von periodischen Gebirgswinden sind die Gletscher- oder Firnwinde, auf die bereits J. V. HANN²⁾ aufmerksam gemacht und die erstmalig H. TOLLNER³⁾ ausführlicher besprochen hat. Sie sind wie die Berg- und Talwinde oder die Hangwinde ausgesprochene »Schönwetterwinde« der wärmeren Jahreszeit, insofern sie sich vorzüglich bei schönem Wetter (Hochdrucksituation ohne stärkere Druckunterschiede) ausbilden. Sie sind ein Effekt der ungleichen Erwärmung der Luft über dem Gletscher und jener über dem eisfreien Talboden: während über letzterem die untermittags zugeführte Strahlungsenergie zu einem Großteile zur Erwärmung der Luft verwendet wird, wird sie auf dem Gletscher hauptsächlich in Schmelzwärme umgesetzt und kommt nur zu einem geringen Teile der darüber liegenden Luft zugute. Die Gletscherluft ist also — wenigstens in den untersten Schichten — tagsüber kälter und somit dichter, schwerer als die Luft über der Talsohle und fließt daher bergab. Nachts, wo die Strahlungsverhältnisse über eisbedecktem und aperem Boden ausgeglichener sind, fehlt der Anlaß zur Entstehung von stärkeren lokalen Druckgradienten und damit auch der Gletscherwind.

Nachdem das Vorkommen von Gletscherwinden auf zahlreichen Alpen-gletschern wiederholt festgestellt worden war, interessierte es, in ähnlicher Weise wie seinerzeit bei den Berg- und Talwinden näheren Aufschluß zu erhalten über ihren zeitlichen Ablauf und ihren räumlichen Aufbau. Zu diesem Zwecke wurden im Sommer 1933 erstmalig Vorversuche auf einigen Gletschern der Öztaler Alpen angestellt. Die Untersuchungen fügen sich in den Rahmen der übrigen Strömungsforschungsarbeiten des Innsbrucker Instituts für kosmische Physik ein, die hauptsächlich mit Mitteln der Österr.-Deutschen Wissenschaftshilfe und des D. und Ö. Alpenvereins seit mehreren Jahren durchgeführt werden und der Erforschung der spezifisch alpinen Windverhältnisse dienen.

¹⁾ Auszug aus der Arbeit: Die periodischen Winde in einem Quartale der Alpen (Pilotierungen im Öztale). Beitr. Phys. fr. Atm. 21, S. 245.

²⁾ Handb. d. Klimatologie, 3. Aufl., I., S. 284. — Ferner: Theorie der Berg- und Talwinde. Met. Zeitschr. 1879, S. 444.

³⁾ Gletscherwinde in den Ostalpen. Met. Zeitschr. 1931, S. 414.

Parallel mit den alljährlich vom D. u. Ö. AV. veranstalteten Gletschermessungen am Hintereisferner wurden daselbst im Juli 1933 die ersten Pilotierungen der Gletscherwinde durchgeführt. Später (August) kamen dazu noch weitere derartige Messungen am Gepatschferner. Es handelte sich dabei, wie gesagt, lediglich um Vorversuche, weshalb vorerst auch nur einfache Visierungen vorgenommen wurden¹⁾; für spätere systematische Messungen dürfte es sich jedoch empfehlen, den hier zweifellos stärker ins Gewicht fallenden Vertikalkomponenten der Luftströmungen durch »Doppelan-schritte« (Visierungen der Pilotballone von zwei festen Standpunkten aus) Rechnung zu tragen²⁾. Die Ablesungen von Höhe und Akzimuth geschahen durchwegs 1/4minütig — entsprechend einem Höhenintervall der Ballone von 25 bis 30 m —, so daß selbst in Anbetracht der zu erwartenden geringen Höherstreckung der Gletscherwinde die Festlegung der Ballonbahnen noch hinlänglich genau möglich war. In die Messungen teilten sich zwei Beobachter³⁾, die in der Zwischenzeit auch Bodenwind- und Temperaturmessungen ausführten.

Die Wetterlage war beide Male den Messungen günstig: Vom 24. Juli an herrschte mehrere Tage hindurch antizyklonales Schönwetter, was die Entwicklung von Lokalwinden im Gebirge ermöglichte. Ebenso fielen die Aufstiege am Gepatschferner (11. August) gerade noch vor den Abschluß einer Schönwetterperiode.

Über die bisher erzielten Ergebnisse mögen hier einige ausgewählte Beispiele orientieren, die in Fig. 1 aufgenommen sind, wo die Horizontalprojektionen der Ballonbahnen dargestellt sind.

Der Aufstellungsplatz am Hintereisferner lag am unteren Ende des Gletschers auf dessen Mittelachse in einer Meereshöhe von 2460 m.

Der Morgenaufstieg (8.55 Uhr) am 25. Juli zeigt noch keine Spur von Gletscherwind; nur in unmittelbarster Bodennähe konnte ein leichtes Abfließen der Firnluft wahrgenommen werden (≈ 1 m/sek.). Sonst herrscht bis in eine relative Höhe von 375 m eine aufwärts ziehende Strömung, nämlich der Talauflwind des Rofentales; darüber Gradientwind⁷⁾. Erst um 10.30 Uhr

¹⁾ Pilotierungen beruhen bekanntlich auf der Verfolgung von wasserstoffgasgefüllten, freisteigenden Gummiballonen mittels spezieller Theodolite von einem bzw. mehreren festen Punkten aus (Einfach- bzw. Mehrfachvisierungen), wobei die der jeweiligen Gasfüllung entsprechende Steigggeschwindigkeit des Ballons als praktisch gleichbleibend angenommen werden darf, solange keine merklichen Vertikalbewegungen der Luft (Aufwind u. dgl.) stattfinden.

²⁾ Solche Doppelvisierungen wurden mittlerweile (Sommer 1934) an verschiedenen Stellen des Hintereisferners (ca. 2700 m Höhe in der Mitte und am Rande des Gletschers einerseits, knapp unterhalb des Zungenendes und am linksseitigen Hange andererseits) in einigen Tagesserien vom Verf. und einigen Mitarbeitern durchgeführt und brachten weitere interessante Einblicke in den Strömungsmechanismus der Tageswinde der alpinen Eisregion. Über die Ergebnisse der Bearbeitung wird an anderer Stelle ausführlich berichtet werden.

³⁾ Für die freundliche Mitwirkung bin ich den Herren Dr. A. JELINEK (Hintereisferner) und Dr. E. MOLL (Gepatschferner) zu herzlichem Dank verpflichtet.

⁷⁾ Gradientwind = die durch die allgemeine Luftdruckverteilung (Großwetterlage) bedingte Luftströmung.

scheinen die Temperatur- und Druckgegensätze zwischen Gletscher- und Talluft entsprechend groß geworden zu sein, um die Entstehung eines Firnwindes zu ermöglichen; wenigstens konnte um diese Zeit bereits ein Abwind von

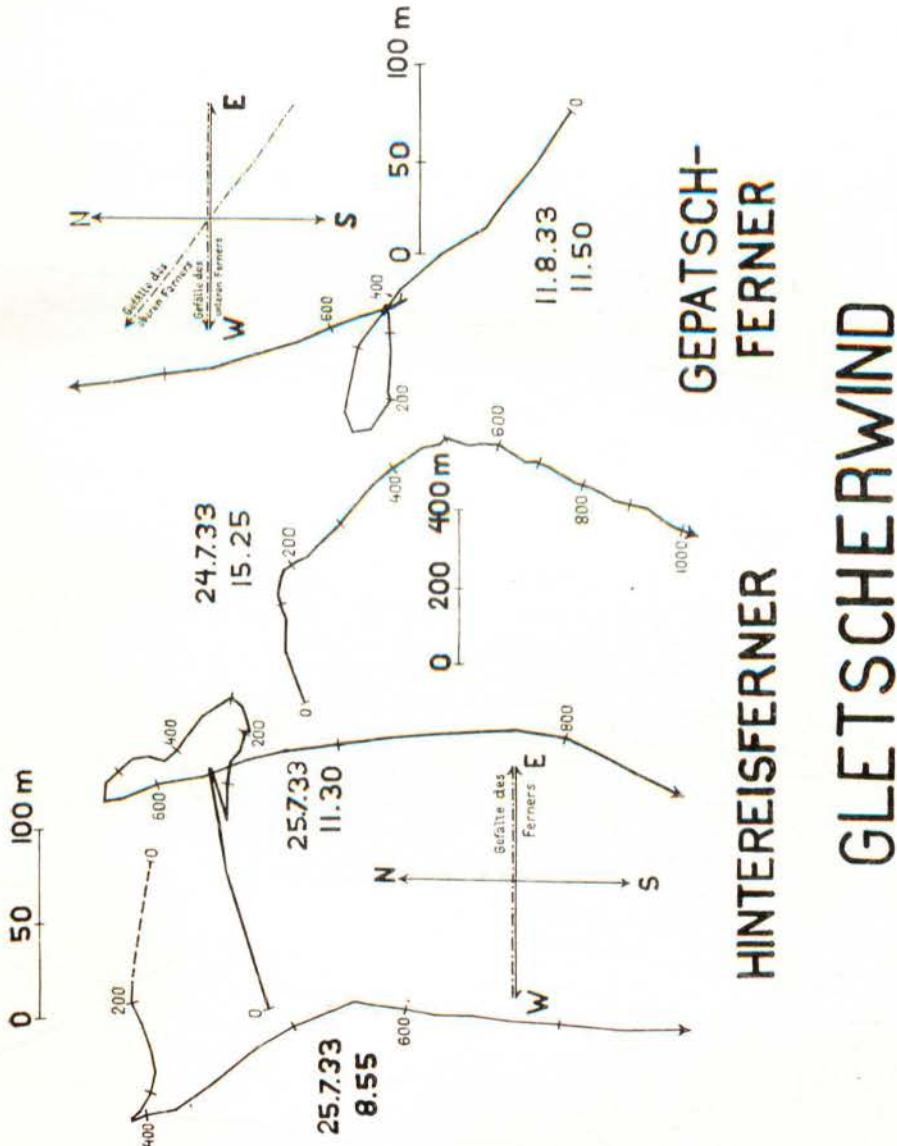


Fig. 1

3 m/sek. in Bodennähe gemessen werden. Und der nächste Ballonaufstieg (11.30 Uhr) ergibt tatsächlich bis in eine Höhe von 200 m den voll entwickelten Gletscherwind. (Der darüberliegende Teil der Ballonbahn interessiert hier nicht.)

Die Verhältnisse am Nachmittag mögen aus dem Aufstieg am Vortage (24. Juli) um 15.30 Uhr erschen werden (kleinerer Maßstab!). Auch hier erweist sich der Gletscherwind von einer vertikalen Mächtigkeit von nahezu 200 m.

Recht interessant ist der hier wiedergegebene Aufstieg am Gepatschferner (11.50 Uhr am 11. August). Hier wurde in größerer Entfernung oberhalb der Gletscherzunge gemessen, und zwar dicht unterhalb der Rauhekopfhütte auf Kote 2560 m, gerade dort, wo der Ferner von nordwestlicher in rein westliche Richtung umbiegt (vgl. die in der Windrose eingetragene Gefällsrichtung des »oberen« und »unteren« Ferners). Das hier gefundene Ergebnis war folgendes: Bis 150 m üb. B. herrscht Gletscherwind, dessen Richtung mit der Gefällsrichtung des oberen Teiles des Ferners übereinstimmt; die aus der oberen Gletscherregion kommende Luft »schießt« also gewissermaßen infolge ihrer Trägheit über die Kurve hinaus. Über dem Firnwind aber weht der Talwind des Kaunertales, dessen Richtung wieder mit jener des unteren Ferners sich deckt. Damit wird die Vermutung H. TOLLNERS (l. c. S. 416) bestätigt, daß nämlich über dem »Kaltluftkissen« des Gletscherwindes die wärmere Luft des Talaufwindes aufgleitet.

Nun noch einige Worte zum vertikalen Aufbau des Gletscherwindes! Dieser konnte wenigstens qualitativ recht gut aus den Aufstiegen erschlossen werden. Während in einem bestimmten Höhenniveau die Stärke des Gletscherwindes von Aufstieg zu Aufstieg stark schwankt — zweifellos ist auch ein täglicher Gang vorhanden, wie die Bodenwindmessungen zeigen werden —, ergibt sich bei jedem einzelnen Aufstiege eine sehr ausgeprägte vertikale Geschwindigkeitsverteilung: Von einem Maximalwert dicht über dem Boden (rd. 2 m) klingt die Geschwindigkeit mit zunehmender Höhe erst rascher, dann langsamer nach Art einer e-Potenz ab und erreicht ein Minimum an der oberen Grenze des Gletscherwindes (im Mittel 180 m). Ein Bild davon gibt Fig. 2, in der die Mittelwerte und die ausgeglichene Kurve aus 4 Aufstiegen dargestellt sind. In unmittelbarer Bodennähe, von 2 bis 0 m, sinkt die Geschwindigkeit naturgemäß infolge der Bodenreibung sehr rasch auf den Nullwert.

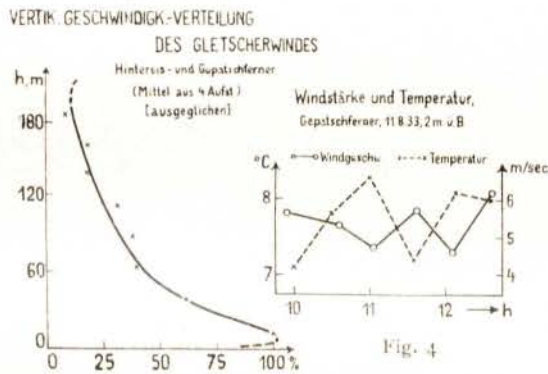
Eine Vorstellung von der Natur des Gletscherwindes gewinnt man aus den Diagrammen der Fig. 3 und 4, die je ein Stück des Tagesverlaufes der Temperatur und Windstärke rd. 2 m über der Gletscheroberfläche auf Grund von Einzelmessungen enthalten⁸⁾. Aus Fig. 3 erkennt man zunächst, wie mit dem — ziemlich plötzlich — einsetzenden Gletscherwind (in der Fig. durch einen Pfeil markiert) die Lufttemperatur fast momentan um 2° fällt — ein Zeichen dafür, daß der Firnwind kältere Luft herantransportiert. Man hat sich dabei dieses Ausfließen der kalten Luft aus dem Kaltluft-

⁸⁾ Die Temperaturmessungen erfolgten mittels des bekannten »Assmann-Thermometers«.

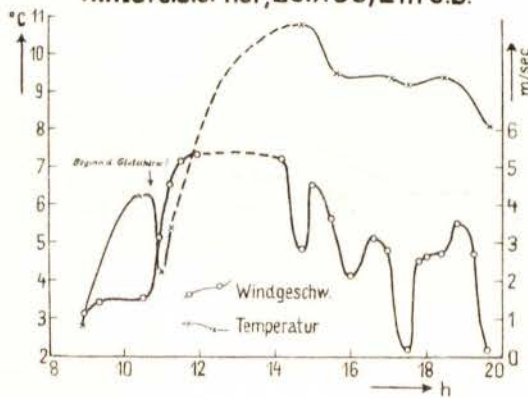
reservoir des Gletschergebietes nicht stetig, sondern als ein periodisches »Austropfen«, ein Überfließen der sich stets neu ansammelnden Kaltluft zu denken.

Wie bereits früher erwähnt, findet sich im eben besprochenen Diagramm auch recht gut ein »tägliches Gang« des Gletscherwindes angedeutet: Beginn um etwa 10¹/₂ Uhr, steiler Anstieg bis in die Mittagsstunden, hierauf unetetige, im Durchschnitt aber allmähliche Abnahme bis zum Abend. Nachts herrscht — nach persönlicher Wahrnehmung — praktisch Windstille.

Fig. 2



WINDSTÄRKE UND TEMPERATUR,
Hintereisferner, 25.7.33, 2 m ü.B.



Recht schön dokumentiert sich das inverse Verhalten von Windstärke und Lufttemperatur bei Gletscherwind im Diagramm der Fig. 4, das die analogen Messungen am Gepatschferner enthält: Jeder Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit entspricht eine Abkühlung bzw. Erwärmung.

Was schließlich die horizontale Reichweite des Gletscherwindes betrifft, so ist von vornherein mit einem sehr begrenzten Wirkungsbereich des-

selben zu rechnen. Die relativ seichte Kaltluft des Ferners fließt mit wachsender Entfernung von diesem rasch auseinander, wird überdies von dem nackten Boden unterhalb der Gletscherzunge (meist Schutt und Geröll) stark erwärmt, dadurch aufgelockert und vermischt sich so sehr bald mit der talaufwehenden Luft der Talwindströmung. Eine Reichweite von mehreren Kilometern, wie sie TOLLNER annimmt, indem er etwa noch in Vent Firnwinde feststellen zu können glaubt, erscheint also von vornherein recht unwahrscheinlich und tatsächlich konnte auch diese Meinung durch direkte Messungen in Vent widerlegt werden, die dort vollkommen normal entwickelten Talwind ergaben⁹⁾. Man wird nicht weit fehlen, wenn man die Ausläufer des Gletscherwindes je nach seiner Mächtigkeit mit 1, höchstens 1¹/₂ km begrenzt. So konnten wir denn auch z. B. beim Gepatschhaus, knapp ¹/₂ Wegstunde vom Gletscherende entfernt, an einem heißen, für die Entwicklung von Gletscherwinden günstigen Tage, um die Mittagszeit — also die Zeit der normalerweise kräftigsten Entwicklung dieser Winde — nur vereinzelt Windstöße vom Ferner her beobachten, während im übrigen der Wind vorwiegend talaufwärts wehte (Talaufwind).

Eine weitere systematische Erforschung der Gletscherwinde erscheint angesichts der bisherigen Ergebnisse sehr nützlich und es ist auch nach Maßgabe der verfügbaren Mittel eine Fortführung der 1933 begonnenen Untersuchungen für den Sommer 1934 in Aussicht genommen. Dabei wird es sich dann u. a. darum handeln, die Entwicklung der Gletscherwinde über dem ganzen Bereiche eines Gletschers durch Pilotierungen an verschiedenen Punkten im Längs- und Querschnitt zu erkunden¹⁰⁾.

Für die Subventionen, durch die die vorliegenden Unternehmungen ermöglicht wurden, sei auch hier nochmals den betreffenden Körperschaften, D. u. Ö. Alpenverein und Österr.-Deutsche Wissenschaftshilfe, bestens gedankt.

Albert Heim über Eis-Trümmerströme und eiszeitliche Bergstürze

Das neue Meisterwerk¹⁾ des alten Meisters: »Bergsturz und Menschenleben«, das in so einzigartiger, unübertrefflicher Weise das Naturphänomen und die Beziehungen des Menschen zu ihm behandelt, enthält auch die nachstehenden Abschnitte über Eis-Trümmerströme (S. 47/8) und eiszeitliche Bergstürze (S. 183/5). Wiedergabe mit Genehmigung des Verfassers und des Verlegers.

R. v. K.

Eis-Trümmerströme

Schon mehrere Male hatte ich Gelegenheit, Trümmerströme, aus Eisblöcken entstanden, zu verfolgen. Das Eis ist ein leichtes, sprödes und wenig festes Gestein. Beim Eisgang eines Flusses wird durch das anschwellende Wasser die gefrorene Decke zuerst gehoben und in Eistafeln zerbrochen. Die Eistafeln werden dann an Hemmungsstellen übereinandergestoßen. Das Eis bildet dann große Stauhäufen, die ruckweise vorgetrieben werden. Es

⁹⁾ Auch Umfragen bei der ortskundigen Bevölkerung ergaben die Allgemeingültigkeit dieser einmaligen Messungsergebnisse für ausgesprochene Schönwettersituationen.

¹⁰⁾ Vergl. Fußnote ⁵⁾ auf S. 218.

¹⁾ Zürich (FRETZ und WASMUTH) 1932, 218 S., 37 Bilder, Skizzen und Figuren, z. T. auf Tafeln.