

## Der Haushalt des Hintereisferners (Ötztal)

Akkumulation, Ablation und Gletscherbewegung in den Jahren 1952/53  
1953/54

(Mit 14 Tabellen, 47 Diagrammen und 34 Karten)

Von Otto Schimpp

(Aus dem Geographischen Institut der Universität Innsbruck)

### Einleitung.

Seit etwa hundert Jahren beobachten wir einen, auch für den Laien deutlich erkennbaren Gletscherrückgang. Dieser Rückzug war nur 1890 und 1920 durch kleine Vorstöße unterbrochen. Diese vor allem in unseren Hochgebirgen auffallende Erscheinung hat die Frage nach der Art und der Ursache dieses Verhaltens aufgeworfen.

Das Wachsen und Zurückgehen eines Gletschers ist von seinem Ernährungszustand abhängig. Das heißt, Änderungen der Menge der jährlichen Akkumulation und Ablation, im Durchschnitt einiger Jahre, verursachen die Änderungen im Gesamtbild des Gletschers. Nach unserer heutigen Kenntnis bestimmen vier Faktoren die Größe des Auftrags und der Abschmelzung: der Niederschlag und seine jahreszeitliche Verteilung, die Temperatur und die Strahlung. Nehmen wir an, der nun hundertjährige Gletscherrückgang würde nur durch eine Temperaturveränderung verursacht, so würde 1 Grad C Temperaturanstieg und die sich daraus ergebende Hebung der Firnlinie um 200 m genügen, um diese Änderung zu bewirken. Da man nur von wenigen Orten seit hundert Jahren genügend genaue meteorologische Daten besitzt und man für einen solchen Zweck das fünfzigjährige Mittel der Temperatur verwendet, so wäre diese Änderung im Temperaturmittel nur schwer feststellbar. Der Auftrag und der Abtrag am Gletscher ist aber von allen vier Faktoren gleichzeitig beeinflusst. Es sind also noch weit geringere Unterschiede, die zu messen und zu untersuchen wären. Erschwerend tritt noch hinzu, daß diese Änderungen durch die lokalen Gegebenheiten an verschiedenen Gletschern auch verschieden wirksam sind.

stützung durch die bayrischen Innkraftwerke, den Deutschen Alpenverein, Prof. R. Finsterwalder und Dr. O. Förtsch. Der Treuhandverwalter der deutschen Alpenvereinschütten, Hofrat M. Busch, gewährte in beiden Jahren für den Aufenthalt am Hochjochhospiz großzügige Vergünstigungen. Diesen allen möchte ich meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

Ein für jede Arbeitsperiode schwieriges Problem war die Suche nach einem geeigneten Begleiter. Revierinspektor F. Kleissl (Postenkommandant von Sölden) und allen Kollegen und Freunden, die sich dazu zur Verfügung gestellt haben, danke ich für ihre Hilfe und Kameradschaft.

Auf einen Rat von Prof. R. Finsterwalder wurde der Hintereisferner zum Arbeitsgebiet gewählt. Drei Umstände machen ihn für gletscherkundliche Arbeiten besonders geeignet.

Von keinem anderen Ostalpengletscher besitzen wir so reichhaltiges Material wie vom Hintereisferner. Die nun 64jährige, von A. Blümcke und H. Hess begonnene und von H. Schatz und Prof. Vietoris fortgeführte Meßreihe bildet eine ideale Arbeitsgrundlage. Ein zweiter Grund für die Eignung des Hintereisfeners ist seine Gestalt. Durch seine gleichmäßige Anlage kann er geradezu als Modell eines Gletschers gelten. Seine dynamischen Verhältnisse sind einfach. Eine weitere Erleichterung der Arbeit sind die geringen bergsteigerischen Anforderungen, die die Begehung dieses Gletschers stellt. Der Weg zum Hochjochhospiz erwies sich jedoch in den Wintermonaten als sehr gefährlich. Ein zweiter Nachteil war der Zeitverlust durch die täglichen weiten Anmärsche auf dem 11 km langen Hintereisferner.

Das Arbeitsgebiet ist durch viele Veröffentlichungen und Karten allgemein bekannt geworden. Es bedarf daher keiner näheren Beschreibung.

Durch Vermittlung von Prof. R. Finsterwalder konnten die Messungen mit einem Wild T 2, Eigentum des D. A. V., durchgeführt werden. Auch für photogrammetrische Aufnahmen stellte Prof. R. Finsterwalder sowohl Geräte, als auch seine Assistenten zur Verfügung.

An Arbeitsmaterial waren Pegelstangen notwendig, die gleichzeitig auch als Meßmarken für Fließgeschwindigkeitsmessungen dienten. Dazu wurden 1 m lange, 3 cm dicke, vierkantige Holzstäbe verwendet ( $\frac{1}{2}$  m rot,  $\frac{1}{2}$  m weiß gestrichen), die an den Enden angebohrt waren und mit einem 8 mm Eisenstift zusammengesteckt wurden. Um ein Spalten der Stangen zu vermeiden, wurden beide Enden mit Draht abgebunden. Diese Pegel haben sich leider nicht voll bewährt, denn durch den starken Winddruck wurden gelegentlich die Verbindungsstifte verbogen. Außerdem waren sie etwas dünn. Sie konnten, da Entfernungen bis zu 900 m notwendig waren,

Von allem bei der Bestimmung des Gletscherhaushaltes konnte durch die Anwendung einer neuen Methode, die die vertikale Komponente der Gletscherbewegung mit zur Grundlage der Haushaltsberechnung macht, gute Werte erzielt werden. Diese Methode geht von folgender Überlegung aus: Bei einem stationären Gletscher muß, damit die Oberfläche erhalten bleibt, sich Auftrag und Abtrag und die vertikale Bewegung ergänzen. Im Firngebiet muß also das durch die vertikale Bewegungskomponente bedingte Einsinken dem Betrag der jährlichen Akkumulation entsprechen, um die Oberfläche in gleicher Höhe, das heißt stationär, zu erhalten. Dem entsprechend muß die Bewegung an der Zunge den Betrag der Ablation ersetzen, also relativ zur Oberfläche aufsteigen.

Diese Methode setzt allerdings eine Reihe von genauen Messungen der beiden Komponenten der Fließgeschwindigkeit und des Auftrags und Abtrags voraus. Sie bringt aber die tatsächlichen Gegebenheiten der Gletscherernährung in verlässlichen Zahlen, auch unabhängig voneinander für einzelne Punkte oder Gletscherbereiche.

Daß die Berücksichtigung dieser Umstände berechtigt ist, beweist am anschaulichsten eine Beobachtung im Sommer 1956. Nach den Erfahrungen in außeralpinen Gebieten und in den Westalpen, wo einige Gletscher vorzustößen begannen, erwartete man auch in den Ostalpen einen Gletschervorstoß, umso mehr, als seit 1953/54 jedes Jahr ansehnliche Firnrücklagen geblieben sind. Trotz Aufhöhung im Firngebiet zeigten jedoch alle beobachteten Gletscher in den Tiroler Alpen einen fast unverändert starken Rückgang. Nur zwei Gletscher machen eine Ausnahme. Das Waxeggkees im Zillertal und der Kesselwandferner im Ötztal hatten infolge besonderer Geländebeziehungen ihre lange Zunge verloren und einen schätzungsweise stationären Stand erreicht. Die Beobachtungen des Verfassers im August und September 1956 zeigen, daß sich der Firnzuwachs an diesen beiden Gletschern auch an der Zunge deutlich bemerkbar macht. Zu einer Jahreszeit, wo bei einem stationären Gletscher die Abschmelzung an der Zunge größer als der Eisnachschub sein muß, schob sich an diesen beiden Gletschern die Zunge vor und brach über kleine Felswände ab. Beide Gletscher stoßen vor.

### Arbeitsgebiet und Organisation der Messungen

Vor allem möchte ich Herrn Prof. H. Kinzl und Herrn Prof. R. Finsterwalder von Herzen dafür danken, daß sie mir durch Rat und Tat die Durchführung dieser Arbeit ermöglicht haben.

Im zweiten Arbeitsjahr, als die Untersuchung in einer Arbeitsgemeinschaft weitergeführt wurde, erhielt sie eine großzügige finanzielle Unter-

A. Blümcke und H. Hess begannen im Juli und August 1893 mit ihren Hintereisferner-Studien, die für die gesamte Gletscherkunde von grundlegender Bedeutung wurden. Im ersten Sommer wurde ein trigonometrisches Netz eingemessen und unter der Kesselwandmündung die erste Steinlinie angelegt. Das Ergebnis der Arbeit des folgenden Jahres war vor allem eine Karte des Hintereisfernens 1:10.000. Sie wurde mit Hilfe von Tachymetrie und Meßtischphotogrammetrie aufgenommen und ist mit eine der ersten genauen und umfassenden Gletscherkarten. Die Karte ist wertvollstes glaziologisches Urkundenmaterial, sie wurde im wissenschaftlichen Ergänzungsheft 2 der Zeitschrift des D. u. Ö. A. V. 1899 veröffentlicht (Lit. 13). In diesem Jahr wurden auch eine Reihe von Steinlinien ausgelegt und Firnsignale aufgestellt. Wohl die größte Pioniertat dieser Untersuchungen sind die im selben Jahr begonnenen Tiefbohrungen. Mit verhältnismäßig primitiven Mitteln wurden bis zum Jahre 1910 eine große Zahl von Bohrungen bis zur Maximaltiefe von 223 m durchgeführt. Viele mußten infolge Durchreißen von Spalten oder Abfließen des Spülwassers vor Erreichen des Untergrundes abgebrochen werden. Jedoch gelang es an 12 Stellen den ganzen Eiskörper zu durchbohren und damit erstmals die Möglichkeit zu schaffen, in den theoretischen Formeln der Gletscherdynamik eine Unbekannte durch einen gemessenen Wert zu ersetzen (Lit. 38).

In den Jahren von 1900 bis 1904 haben S. Finsterwalder und A. Blümcke am Hintereisferner eine Meßreihe durchgeführt, die eine genaue Bestimmung der Fließgeschwindigkeit zum Ziele hatte (Lit. 8, 9). An 18 Pegeln, die gleichzeitig Ablationsmessungen dienten, wurde die Bewegung sowohl in ihrem horizontalen als auch vertikalen Anteil gemessen. Mitte Juli und Mitte September jeden Jahres wurde die Lage der Pegel durch Rückwärtsschnitte bestimmt. Das ermöglichte die Geschwindigkeit der zwei Sommermonate mit der Jahresgeschwindigkeit zu vergleichen. Auch diese Arbeit ist für die Erforschung der Gletscherdynamik von grundlegender Bedeutung. Es war die erste Untersuchung dieser Art, die in solchem Umfang mit dieser Genauigkeit durchgeführt wurde, und es war die erste Arbeit, die die vertikale Komponente der Bewegung bestimmte und ihre Bedeutung für die Gletschermechanik berücksichtigte.

Trotz des Todes von A. Blümcke im Jahre 1914 liefen die Untersuchungen am Hintereisferner weiter. Die Fortführung ist besonders verdienstvoll, da die ganze Arbeit von H. Hess allein geleistet werden mußte. In den ganzen Jahren 1917, 1918 und 1919 entstanden Schichtlinienpläne der Zunge. Mit der großen Karte von 1920 und früheren Aufnahmen erfassen

im Gegenlicht sogar mit dem Theodolit nur mit Anstrengung gesehen werden.

Das Aufstellen der Stangen im Herbst 1952 und das Nachbohren im folgenden Sommer war sehr schwierig. Es war nur ein Meißelbohrer zur Verfügung, der nur mit fließendem Wasser arbeitet und sehr langsam in das Eis dringt. Erst ein neues Gerät, dem Bohrer der Geophysiker der Universität München nachgebaut, erzielte eine befriedigende Leistung. Der Bohrer besteht aus einem einfachen Rohr, in das zwei Zähne geschnitten wurden. Für eine Bohrung von 1,50 m Tiefe benötigt man damit 10 bis 15 Minuten.

Es wurden 54 Pegel aufgestellt, das sind 360 Teilstücke mit einem Gesamtgewicht von 180 kg. Im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft Hintereisferner wurden im Herbst 1953 weitere 300 Stangen auf den Gletscher transportiert und an 40 Punkten aufgestellt. Sie dienten nun als Schnee- und Abschmelzpegel und wurden nicht in die Arbeit einbezogen.

Die Einmessung der Stangen erfolgte von 7 Fixpunkten aus (A, B, C, E, F, G, H — D war geplant, aber als nicht notwendig aufgelassen). Außer Punkt E wurden alle Standpunkte auf sonnseitigen, windbestrichenen, freien Rücken angelegt, damit auch im Hochwinter die Punkte annähernd schneefrei und auffindbar sind. Als Nachteil erwies sich das blendende Gegenlicht beim Arbeiten am Theodolit. Durch das schlechte Wetter im Herbst 1952 konnten die ersten Messungen erst Ende Jänner 1953 durchgeführt werden.

### **Die Geschichte der Gletscherforschung am Hintereisferner**

Der Name des Hintereisferners ist bereits mit den Anfängen der intensiven glaziologischen Forschung in den Ostalpen verbunden. Schon vor mehr als hundert Jahren haben die Brüder Schlagintweit an der Zunge gemessen. Der Hintereisferner hat sich als fruchtbares Arbeitsgebiet für Glaziologen erwiesen.

Bei ihren Untersuchungen im Ötztal führten die Brüder Schlagintweit im September 1847 Messungen der Fließgeschwindigkeit an der Zunge des Hintereisferners durch (Lit. 64). Die erste Messung 2219 m oberhalb des Gletscherendes an der Einmündung des Kesselwandferners ergab eine Geschwindigkeit von 12.1 cm pro Tag. In der Nähe der Rofenhütte, 638 m vom Gletscherende, wurde eine Tagesgeschwindigkeit von 7,5 cm bestimmt. Aus diesen Messungen ergibt sich leider keine Vergleichsmöglichkeit, weil sie in einem Gebiet durchgeführt wurden, das heute eisfrei ist.

Gletscherschmelze von den Klimafaktoren zu untersuchen. Infolge des Krieges mußte dieses Programm abgebrochen werden. Die Beziehung Eisschmelze und Klimafaktoren wurde in den letzten Jahren durch die Wärmehaushaltsbestimmungen von H. Hoinkes (Lit.: 71) eingehend geklärt.

Auch für biologische Untersuchungen war der Hintereisferner mit seinem Vorfeld ein dankbares Arbeitsgebiet. Im Jahre 1937 hat H. Friedel hier ausgedehnte pflanzenkundliche Untersuchungen ausgeführt (Lit. 28). Das Kleintierleben hier und auch in anderen Gletschervorfeldern wurde von H. Janetscheck 1936—1940 erforscht (Lit. 45).

Außer den laufenden Nachmessungen wurden in den letzten Jahren am Hintereisferner eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, die hoffen lassen, daß auch in Zukunft der Hintereisferner das Arbeitsgebiet für verschiedene Forschungen ist. Nachdem 1952—1953 R. Rudolph und der Verfasser unabhängig voneinander hier ihre Arbeit begonnen hatten, war es naheliegend, die Arbeiten zu koordinieren und verschiedene Wissenschaftler einzuladen, im Rahmen dieser Arbeitsgemeinschaft am Hintereisferner ihre Studien zu betreiben. Dadurch kam für den Sommer 1954 ein reichhaltiges Arbeitsprogramm zustande. H. Hoinkes, N. Untersteiner und W. Ambach unternahmen Messungen der Strahlung und des Wärmeumsatzes. Weiters führte Frau Dr. Dirmhirn im unteren Zungenbereich Albedomessungen durch. O. Förtsch vom Institut für angewandte Geophysik der Universität München und H. Vidal von der bayrischen Landesanstalt für Moorbirtschaft und Landkultur bestimmen für den ganzen Zungenbereich und einen Teil des Firngebietes mit Hilfe seismischer Messungen die Eisdicke (Lit. 27).

Auch für seine Untersuchungen im geophysikalischen Jahr wählte H. Hoinkes den Hintereisferner zum Arbeitsgebiet. Deshalb übernahm er bereits im Herbst 1954 einen Teil der Pegelstangen der Arbeitsgemeinschaft R. Rudolph und O. Schimpp, um bereits eine Beobachtungsreihe als Basis für seine Messungen zu haben.

Im Rahmen dieser groß angelegten Untersuchungsreihe wurde fast durch ein ganzes Jahr auf dem Hochjochhospiz eine meteorologische Station unterhalten. W. Ambach unternahm Messungen der differentiellen Bewegung im Mittelbereich des Hintereisferners.

Im Frühjahr 1958 begann der Verfasser in Zusammenarbeit mit W. Ambach eine neue Arbeit am Hintereisferner. In einem Firnstollen wurden Schneestratigraphie, Schneemechanik und die Bewegung untersucht.

In seinem Vortrag „Das glazial-meteorologische Forschungsprogramm in den Ötztaler Alpen“ gab H. Hoinkes (Lit.: 72) auf der internationalen

sie eindeutig die Veränderungen, die die Zunge im Verlaufe des kleinen Gletschervorstoßes von 1920 erfahren hat.

Eine der ersten stereophotogrammetrischen Kartenaufnahmen überhaupt war die des Hintereisferners vom Jahre 1920. H. Hess hat auch hier mit Hilfe seines Sohnes G. Hess eine Arbeit geleistet, die volle Bewunderung verdient. Von 3 Standlinien aus wurde das gesamte Gebiet des Hintereisferners mit 6 Plattenpaaren aufgenommen, nur für das Zungenende war eine tachymetrische Ergänzung notwendig. Auch diese Karte ist ein wertvolles Dokument, weil sie den Hochstand von 1920 darstellt (Lit. 38). Außer diesen besonderen Arbeiten wurden jedes Jahr die Steinlinien nachgemessen, mehrere Quer- und Längsprofile mit Tachymeterzügen bestimmt und die Firnsignale eingemessen. Mit Ausnahme des Jahres 1923 hat H. Hess Jahr für Jahr bis 1931 alle diese Arbeiten durchgeführt.

Da die Durchbohrung des Gletschers an mehreren Stellen eine hervorragende Kontrollmöglichkeit ergab, wurden von H. Mothes in den Jahren 1926 und 1928 an der Zunge seismische Messungen vorgenommen, die zur Entwicklung dieser Meßmethode weitgehend beigetragen haben.

Vom Jahre 1932 an übernahmen Prof. Schatz und Prof. Vietoris die Nachmessungen und führten sie bis zur Gegenwart ohne Unterbrechung weiter. Zusätzlich zum laufenden Arbeitsprogramm wurde fast jährlich die Zunge photogrammetrisch aufgenommen.

Im Rückblick auf diese Meßreihe kann die geleistete Arbeit kaum genügend bewundert werden. Sogar heute, mit weit entwickelteren Hilfsmitteln, würde es den äußersten Einsatz erfordern, dieses gewaltige Forschungsprogramm durchzuführen. Das Besondere dieser Untersuchungen liegt aber darin, daß, obwohl der Beginn der Arbeiten mit den Anfängen einer intensiven glaziologischen Forschung zusammenfällt, das Programm auf jene Frage abgestimmt wurde, die heute noch im Brennpunkt des glaziologischen Interesses stehen.

Eine genauere Untersuchung des Niederschlages im Venter Gebiet erfolgte erst, als A. Wagner 1934 zusätzlich zu den zwei von H. Hess eingerichteten Totalisatoren vier weitere aufstellte. Die Ergebnisse der bis heute laufenden Meßreihe wurden von J. Haeuser (Lit.: 69), E. Ekhart (Lit.: 68) und H. Hoinkes (Lit.: 70) bearbeitet. Ebenfalls im Jahre 1934 wurde auch die meteorologische Station Vent in Betrieb genommen. Von J. Lernhart (Lit.: 73) wurde 1936 ein Schreibpegel in die Rofenache eingebaut, der jedoch später in die Venter Ache verlegt wurde. Die Absicht von A. Wagner (Lit.: 74) war, aus Niederschlag und Abfluß den Massenhaushalt der Gletscher zu bestimmen und die Abhängigkeit der

Weißkugel	30 007 63	184 374 28	3741.1	Kreuz
H. Hintereisspitze	32 896 73	187 161 65	3488.1	Sign.
M. Hintereisspitze	33 972 36	187 812 62		Stm.
Muthspitze	35 301 80	188 143 20	3257.9	Stm.
M. Guslarspitze	37 498 06	188 775 83	3126.9	Stm.
M. Guslarspitze	37 487 56	188 784 88	3131.2	Sign.
Im Hint. Eis	34 302 30	183 916 25	3273.9	Sign.
Knöttlen	36 445 17	185 941 98	3007.7	Sign.
Hannes	32 649 18	185 378 21	3193.0	Stm.
Schimpp A	36 834 00	187 464 21	2456.2	Stm.
N. 2 A	37 246 10	187 801 29	2648.2	Stm.
12 A	37 454 42	188 341 39	2929.2	Stm.
12 B	37 133 07	188 450 24	2946.9	Stm.
3 A	33 790 68	187 482 84	3395.0	IH.
11 A	30 726 41	184 551 28	3372.8	IH.
13 A	34 293 34	183 907 45	3272.0	IH.
Knöttlen A	36 236 79	185 803 23	2992.9	IH.
Punkt A	36 834 00	187 464 21	2455.2	
B	35 682 95	187 056 92	2553.2	
C	33 806 65	185 947 79	2780.8	
E	34 042 90	184 674 70	2884.4	
F	32 902 72	184 492 31	2905.2	
G	32 426 92	184 217 88	2999.0	
H	30 572 56	184 063 71	3400.4	

Es war geplant, bereits im September 1952 den ganzen Hintereisferner photogrammetrisch aufzunehmen. Infolge schlechten Wetters gelang aber nur die Aufnahme einer Zungenstandlinie. Im September 1953 konnte der gesamte Gletscher aufgenommen werden. Im August 1954 wurde die Aufnahme der Gletscherzunge wiederholt. Mitte November 1954 wurde noch eine Ergänzungsstandlinie auf dem Knöttlen angelegt. Die Auswertung dieser Aufnahmen des Hintereisferners erfolgte im Maßstab 1:10.000.

Die Karte von A. Blümcke und H. Hess aus dem Jahre 1894, die Karte von 1920 von H. und G. Hess, die Alpenvereinskarte von 1940 und der Schichtplan von 1953 geben uns die Möglichkeit, den Gletscherrückgang zahlenmäßig genau zu erfassen. Diese Arbeit hat Prof. R. Finsterwalder im Rahmen seiner Untersuchung von Ostalpengletschern bereits durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Abhandlung „Die zahlenmäßige Erfassung des Gletscherrückganges an Ostalpengletschern“ veröffentlicht (Lit. 26).

Tagung für alpine Meteorologie in Garmisch-Partenkirchen einen ausführlichen Überblick über die glaziologischen Arbeiten am Hintereisferner und den benachbarten Gletschern.

Da für die nächsten Jahre verschiedene Arbeiten am Hintereisferner geplant sind, darf man erwarten, daß hier auch weiterhin ein Schwerpunkt der ostalpinen Gletscherforschung sein wird.

### Der Schichtplan des Hintereisferners 1:10.000

Für jede Feldarbeit ist eine genaue Karte die unerläßliche Grundlage, umso mehr in diesem Fall, wo die genaue Kenntnis der topographischen Gegebenheiten ausschlaggebend für die Deutung der auftretenden Erscheinungen sein muß. Auch zur Berechnung des Haushaltes war es notwendig, auf der Karte verschiedene Bereiche der Fläche nach genau ausmessen zu können.

Das gesamte kartographische Material verdanke ich der großzügigen Unterstützung von Prof. R. Finsterwalder. Er stellte sowohl Aufnahmegerät als auch seine Assistenten zur Verfügung, auch die Berechnung und Auswertung wurde an seinem Institut durchgeführt.

Erst durch genaue Nachmessungen im Jahre 1956 konnten kleine Unstimmigkeiten im trigonometrischen Netz beseitigt werden. Die neuerliche Berechnung und Ausgleichung durch Ing. H. Baumert (am Institut für Photogrammetrie der Technischen Hochschule, München) brachte kleine Korrekturen der Koordinaten. Das Hintereisnetz ist an das Gepatschnetz angehängt, fast alle Punkte sind im Rahmen des Gletscherkurses 1953 am Gepatschhaus neu angelegt worden. Man wählte dazu das Koordinatensystem der Alpenvereinsvermessung. Es ergeben sich jedoch gegenüber diesen Koordinaten Unterschiede, die einerseits darauf zurückzuführen sind, daß das in sich stimmende Netz des Hintereisferners an das Gepatschnetz angehängt wurde, das sich seinerseits wieder auf drei Punkte nördlich des Gepatschferners stützt. Andererseits sind einige Signale der Alpenvereinsvermessung inzwischen zerstört und durch andere ersetzt worden. Durch diese Umstände ergaben sich zwischen dem lokalen Koordinatensystem und dem des Alpenvereins Unterschiede bis zu 3,8 m im Rechtswert und 1,6 m im Hochwert.

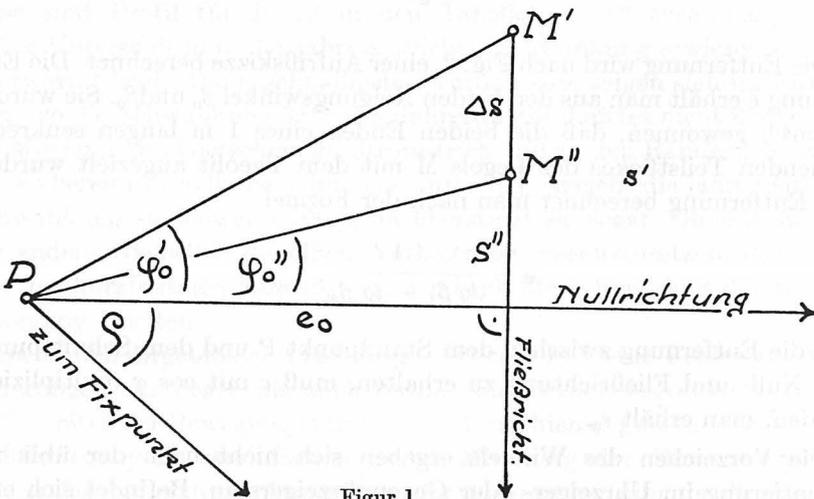
In dieses Netz waren die Meßpunkte für die Geschwindigkeitsprofile nicht miteinbezogen. Sie wurden mit Hilfe von Vorwärtsschnitten nachträglich in dieses Netz eingehängt.

unsicheren Theodolitaufstellung auf dem Eis. Beide Methoden erfordern sowohl bei der Feldarbeit wie bei der Auswertung einen ziemlich großen Arbeitsaufwand, man kann damit jedoch eindeutig die Richtung der Bewegung bestimmen.

Bei der Berechnung der Fließgeschwindigkeit aus der Winkeländerung muß die Fließrichtung bereits annähernd bekannt sein. Diese einfache, nach Art einer Standpunktzentrierung arbeitenden Methode erfordert eine solche Aufstellung am Ufer, daß Meßrichtung und Fließrichtung so gut wie senkrecht zueinander stehen.

Mein Arbeitsprogramm sah eine Erfassung der Geschwindigkeit sowohl nach der horizontalen als auch vertikalen Komponente vor. Außerdem sollten die jahreszeitlichen Schwankungen der Fließgeschwindigkeit bestimmt werden. Da deshalb auch Messungen in den Wintermonaten notwendig waren, mußte eine Arbeitsmethode gewählt werden, die trotz hoher Genauigkeit ein einfaches und schnelles Arbeiten ermöglichte. Die am besten geeignete Methode war daher die Messung der Winkeländerung.

Beim Aufstellen der Pegel in den einzelnen Profilen und bei der Wahl der Meßstandpunkte ergab sich so gut wie nirgends eine ideale gegenseitige Stellung; das heißt Meßrichtung und Fließrichtung bilden keinen rechten Winkel. Besonders durch die ungünstigen Geländebeziehungen an der Zunge mußte der Standpunkt so gewählt werden, daß Meßrichtung und Fließrichtung in einem sehr spitzen Winkel zueinander standen. Dies erforderte eine Veränderung in der Berechnungsweise, die jedoch allgemein die Genauigkeit der Methode erhöht. Sie wurde deshalb bei allen Meßpegeln angewandt.



Figur 1

### Die horizontale Komponente der Gletscherbewegung

Als einer der bestimmenden Faktoren für die Gletschermechanik und den Ablauf des Gletscherhaushaltes und durch ihre wechselseitige Beziehung zu den Gletscherschwankungen ist die Bewegung des Eises schon seit vielen Jahren das Ziel verschiedener Forschungen.

Im Laufe dieser Untersuchungen wurde eine Reihe von Meßmethoden zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit des Gletschers entwickelt. Im Folgenden sind sie kurz in ihrer Arbeitsweise und in ihren Vor- und Nachteilen charakterisiert.

Die am häufigsten angewandte und auch einfachste Methode ist das Auslegen von Steinlinien. Man erhält auf einfache Weise eine große Zahl von Werten. Leider entsprechen diese Werte höchstens der Größenordnung nach den tatsächlichen Begebenheiten, denn die Lage der Steine wird beim Absenken der Oberfläche durch die Ablation sicher verändert. Nehmen wir als Beispiel die Zunge des Hintereisferners. Würde man hier nahe dem Zungenende einen Stein anbringen, so würde er eine Bewegung von etwa 3 m pro Jahr mitmachen, durch die Ablation aber 6 bis 7 m absinken. Es wäre ein Zufall, wenn der auf der schrägen Oberfläche auch schräg liegende Stein sich dabei nicht nach irgendeiner Seite verlagern würde.

Die von R. Finsterwalder entwickelte und auch in großem Stil angewandte photogrammetrische Geschwindigkeitsmessung (Lit. 24) erlaubt eine zeitsparende Bestimmung der Bewegung über ein ganzes Querprofil. Eine Standlinie mit kleiner Basis wird senkrecht zur Fließrichtung des Gletschers aufgenommen. Sie dient zur Bestimmung der Entfernung eindeutig erkennbarer Punkte. Eine Wiederholung der Aufnahme im Standpunkt A der Basis ergibt die seitliche Verschiebung der bestimmten Punkte. Die Abmessung der Aufnahmen wird am Stereokomparator ausgeführt. Um ein Wiedererkennen der Punkte zu ermöglichen, muß also die Wiederholungsaufnahme folgen, bevor das Bild der Oberfläche durch die Ablation zu stark verändert wurde. Diese kurzfristige Arbeitsweise hat sich besonders bei Expeditionen außerordentlich bewährt. Für eine länger dauernde Untersuchung würde diese Methode aber eine laufende Beobachtung verlangen oder man müßte sich auf Stichproben beschränken. Zudem würde die winterliche Scheebedeckung das Arbeiten mit dieser Methode ausschalten.

Die genaueste Arbeitsweise ist das Bestimmen von Signalen durch Rückwärts- oder Vorwärtsschnitte. Der Rückwärtsschnitt hat dabei den Vorteil, Identifizierungsfehler auszuschalten, aber den Nachteil einer

Marke oberhalb des Schnittpunktes der Nullrichtung mit der Fließrichtung, bewegt sich also auf diesen zu, so haben  $\varphi$  und  $s$  ein negatives Vorzeichen, befindet sich der Pegel unterhalb, so ist  $\varphi$  und  $s$  positiv. Bei positiven Vorzeichen werden daher  $\varphi$  und  $s$  im Laufe der Zeit größer, bei negativen kleiner.

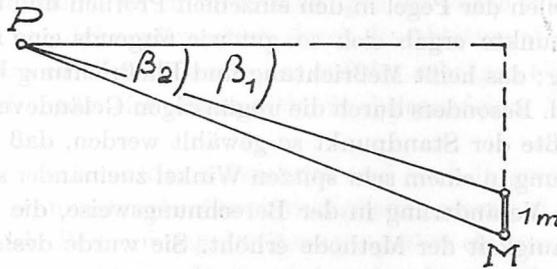
Das Arbeiten nach dieser Methode erwies sich sowohl im Gelände wie bei der Auswertung als einfach. Die Lage der 7 Standpunkte und 11 Profile sind aus Karte 1 ersichtlich. Die Messung erfolgte nur in einem Satz, um möglichst zeitsparend durchgeführt zu werden. Die Verringerung der Genauigkeit mußte in Kauf genommen werden. Da die Pegel auch von keinem weiteren Punkt eingemessen wurden, ergibt sich keine Kontrollmöglichkeit. Ein Meßfehler würde jedoch nur die Schwankung der Bewegung etwas verfälschen, er würde bei einer Wiederholung der Messung wieder ausgeschaltet. Stärker wirken sich jedoch Fehler aus, die durch Veränderung am Pegel entstehen. Da durch Verlust unter der Schneedecke oder ungünstigen Standort gelegentlich eine neue Anlage des Pegels notwendig war, ergaben sich trotz Messung der Korrektur mit Maßband Fehler, die eine Unterbrechung der Meßreihe notwendig machten. Eine weitere kleine Fehlerquelle ist die Unsicherheit der Aufstellung des Pegels durch Schneedruck im Winter und Ausweitung des Bohrloches im Sommer. Jedoch bleibt dieser Fehler in einer Größenordnung, die vernachlässigt werden darf.

Die Ergebnisse aus der Untersuchung der Fließgeschwindigkeit sind durchwegs befriedigend. Als Beispiel für die Berechnung sind in Tabelle 1 die verschiedenen Werte für Punkt 2 des Profils I angegeben. Die Ergebnisse sind Profil für Profil in den Tabellen 2—12 zusammengefaßt.

Die Unterschiede in der jahreszeitlichen Schwankung erwiesen sich als unerwartet hoch. Die regelmäßigsten Verhältnisse zeigen sich im Firngelände, wo die Schwankung 35% des Jahresdurchschnittes nicht übersteigt. Im Mittelteil des Gletschers im Stromstrich und an den Rändern der Zunge, wo bereits Verfallserscheinungen auftreten, erreicht die jahreszeitliche Schwankung stellenweise 100%, ja übersteigt sie sogar. Ohne deswegen für andere Gletscher dieselben Verhältnisse vorauszusetzen, darf man also aus kurzfristigen Messungen nur mit größtem Vorbehalt die Jahresbewegung ableiten.

Da in den Ergebnissen (Tabelle 2—12) sowohl kleine Fehler aus Veränderungen am Pegel als auch zeitlich und örtlich begrenzte Unregelmäßigkeiten der Bewegung enthalten sind, erschien es günstig, die Kurven der Bewegung zu vereinfachen. Durch Mittelung der Monatswerte der beiden Jahre und durch Ausgleichen der Sprünge im Gang der Bewegung,

Die Grundrißskizze Figur 1 soll die Meßanordnung und Berechnung erklären. P ist der Theodolitstandpunkt am Ufer des Gletschers. Die Lage des Pegels bei der 1. Messung ist M', die Lage bei der Wiederholungsmessung M". Gemessen wurden die jeweiligen Winkel zwischen einem Fixpunkt und der Marke.  $\varphi'$  ist der Winkel der ersten,  $\varphi''$  der Winkel der wiederholten Messung. Diese Winkel wurden um den Winkel  $\varrho$  auf eine Nullrichtung reduziert, die zur Fließrichtung senkrecht steht, es ergab sich  $\varphi_0'$  und  $\varphi_0''$ . Der Winkel  $\varrho$  wurde auf der Karte ausgemessen, nachdem in diese Karte die Fließrichtung eines Pegels und die Senkrechte dazu durch den Meßpunkt eingetragen worden ist. Es genügt dabei, wenn dieser Winkel zwischen dem Fixpunkt und der Nullrichtung auf Zehntel-Grad genau gemessen wird. Multipliziert man die Entfernung  $e_0$  (die senkrechte Entfernung zwischen Standpunkt und Bewegungslinie) mit  $tg \varphi_0'$  bzw. mit  $tg \varphi_0''$ , so erhält man  $s'$  bzw.  $s''$ . Die Differenz  $s'$  minus  $s''$  ergibt den Weg  $\Delta s$  im betreffenden Meßzeitraum.



Figur 2

Die Entfernung wird nach Fig. 2, einer Aufrißskizze berechnet. Die Entfernung  $e$  erhält man aus den beiden Neigungswinkel  $\beta_0$  und  $\beta_0$ . Sie wurden dadurch gewonnen, daß die beiden Enden eines 1 m langen senkrecht stehenden Teilstückes des Pegels M mit dem Theolit angezielt wurden. Die Entfernung berechnet man nach der Formel

$$e = \frac{1}{tg \beta_1 - tg \beta_2}$$

Um die Entfernung zwischen dem Standpunkt P und dem Schnittpunkt von Null- und Fließrichtung zu erhalten, muß  $e$  mit  $\cos \varphi$  multipliziert werden, man erhält  $e_0$ .

Die Vorzeichen des Winkels ergeben sich nicht nach der üblichen Orientierung im Uhrzeiger- oder Gegenuhrzeigersinn. Befindet sich eine

Gletschermittle größer. Alle Änderungen treten an den Rändern verzögert auf, bis zu einem Monat nach Eintreten der Änderung in der Gletschermittle. Es herrscht in einem Querprofil also nicht die Parallelität, die man erwarten könnte.

Eine auffallende Unstimmigkeit gegenüber den übrigen Punkten desselben Profiles besteht in Punkt III 1. Es herrscht eine genaue Umkehrung des Verlaufs der Schwankungen gegenüber den benachbarten Punkten. Da dieser Punkt direkt an der Einmündung des Langtauffererjochferners liegt, läßt sich diese Erscheinung vielleicht durch eine Sog- bzw. Stauwirkung des Hauptgletschers erklären.

Ein klares Bild der jahreszeitlichen Verteilung der Maxima und Minima ergab sich aus ihrer Darstellung in Karten (Karte 15—26). Die Bewegungsverhältnisse wurden Monat für Monat in einer Karte dargestellt. Es wurden dabei Gebiete gleicher Bewegungsänderung zusammengefaßt. Zunehmende Geschwindigkeit wurde durch weiten Punktraster dargestellt, abnehmende durch weiten Strichraster. Der enge Punktraster zeigt Gebiete, in denen Geschwindigkeitsmaximum herrscht, der dunkle Strichraster zeigt Gebiete von Minima. Wie bereits erwähnt wurde, entstehen im April und Mai in den oberen Firngebieten Zonen von Bewegungsmaxima. Diese Zone bewegt sich in Form einer Druck- oder Reaktionswelle gletscherabwärts, und zwar ein Vielfaches schneller als die tatsächliche Bewegung des Eises. Ihre Geschwindigkeit beträgt zwischen 50 und 70 Meter pro Tag. Infolge des kürzeren Weges erreichen die Druckwellen der kleinen Seitengletscher noch im Mai den Mittelteil des Hintereisferners. Dadurch bewegen sich im Mai und Juni zwei Druckwellen gleichzeitig im Gletscher abwärts. Die obere Druckwelle scheint dabei ihre Kraft erschöpft zu haben, denn sie löst sich im Juli auf und bildet nur 2 kleine randliche Zonen. Diese Annahme würde auch die zwar noch scharfe, aber nur mehr kurze Geschwindigkeitserhöhung im Profil V erklären. Die untere Druckwelle wandert gletscherabwärts und erreicht im September das untere Zungenende. Eine kleine Maximazone hält sich hier auch noch bis Oktober. Im November bildet sich im Mittelteil des Gletschers, zwischen 2800 m und 2900 m ein Gebiet von Minima. Es teilt sich im Jänner. Eine Minimazone wandert ins Firngebiet, die andere zur Zunge. Im April besteht nur mehr ein Minimum um den Standpunkt H und ein Minimum am rechten Zungenende.

Die Erklärung für den Ablauf dieser Schwankungen liegt zum Teil bereits in ihrer zeitlichen und örtlichen Verteilung. Das Auftreten der größten Geschwindigkeiten im Firngebiet fällt mit der größten Schneebe-

ergaben sich Diagramme eines Repräsentationsjahres (Diagramme 1—45) als die günstigste Arbeitsgrundlage für Vergleiche und Berechnungen. Außerdem wurden die Jahresmittel (Karte 2) und die Monatswerte in Karten eingetragen (Karte 3—14) und Linien gleicher Tagesgeschwindigkeiten gezeichnet. Dies veranschaulicht einerseits die Verteilung der Geschwindigkeit über den Gletscher, andererseits ihre Veränderung mit der Jahreszeit.

Der Vergleich der Durchschnittsgeschwindigkeiten in den einzelnen Profilen zeigt bereits interessante Gegebenheiten. Im Längsverlauf des Gletschers zeigt sich die höchste Geschwindigkeit nicht wie erwartet im Mittelteil des Gletschers, wo mit der Einmündung der kleinen Gletscher auch die größte Tiefe auftritt, sondern bereits ober der Firnlinie in einer Höhe von 3000 m. In den Querprofilen kann man die Abnahme der Geschwindigkeit von der Mitte zum Rand in einer parabolischen Kurve feststellen. Nur an der linken Seite (am Hang der Langtaufererspitze) des Profiles VI ist die Geschwindigkeitsabnahme so stark, daß man beinahe von einer Enbloc-Bewegung sprechen kann. Eine weitere Erscheinung ist die kleine doch auffallende Abnahme der Geschwindigkeit in der Mitte der Profile. Sie erklärt sich daraus, daß der Gletscher aus 2 Firnfeldern entspringt und daher aus 2 großen Teilströmen zusammengesetzt ist.

Beim Vergleich der Diagramme der jahreszeitlichen Schwankungen in der Längsachse des Gletschers zeichnen sich deutlich starke Verschiebungen ab. Der Zeitpunkt des Geschwindigkeitsmaximums verlagert sich besonders stark. Die Frage dieser zeitlichen Änderungen wird weiter unten genauer besprochen. Auch die Form und Stärke der Schwankungen ändert sich von Profil zu Profil. In den beiden oberen Firnfeld-Profilen (Profil VII und VIII) tritt im Mai eine rasche Erhöhung der Fließgeschwindigkeit auf, sie erreicht 25% über den Jahresdurchschnitt. Die Geschwindigkeit verringert sich langsam in den folgenden Monaten und ihr Minimum liegt 10 bis 15% unter dem Jahresmittel. Im Profil darunter auf 3000 m Höhe (Profil VI) hat sich das Maximum auf den Juni verschoben. Die Schwankung ist sehr kräftig und breit mit annähernd gleichem Anstieg und Abfall. Das Profil V (2900 m) ist durch eine zwar scharfe, aber nur kurz dauernde Geschwindigkeitserhöhung gekennzeichnet. Die tiefer liegenden Profile zeigen wieder breitere und flachere Schwankungen. Am Zungenende, wo das Maximum im September auftritt, ist auch das Bild der Schwankung verändert. Der Geschwindigkeitsanstieg ist langsam, der Abfall verhältnismäßig rasch.

In einem Querprofil zeigen die jahreszeitlichen Schwankungen fast durchwegs ein ähnliches Bild. In der Regel sind die Schwankungen in der

Maximum bereits ein bis zwei Monate früher eingetreten war, entspricht die Geschwindigkeit im Sommer ungefähr dem Jahresmittel.

Auch mit den Messungen von W. Pillewizer zeigt sich eine gute Übereinstimmung der jahreszeitlichen Schwankungen. Jedoch stellte auch er keine so großen Unterschiede zwischen Geschwindigkeitsmaximum und -minimum fest, wie sie die Untersuchung 1952/1954 am Hintereisferner ergab. Das Geschwindigkeitsmaximum fällt im Meßbereich (auf der mittleren Zunge des Mittelbergferners) in den Spätsommer. Dies entspricht auch den Verhältnissen am Hintereisferner.

Die Vergleiche zeigen, daß die am Hintereisferner gemessenen Verhältnisse nicht als einmalig betrachtet werden müssen und daher die Werte eine verallgemeinernde Verwendung finden können. Durch den Einbau der Ergebnisse dieser Untersuchung in eine Theorie der Gletscherdynamik können sicherlich neue Erkenntnisse gewonnen werden. Diese Arbeit muß jedoch von einem erfahrenen Physiker vorgenommen werden.

### Die vertikale Komponente der Gletscherbewegung

Die erste Arbeit, die den vertikalen Anteil der Bewegung in seiner Bedeutung für die Gletscherdynamik beachtete und untersuchte, war die Meßreihe von A. Blümcke und S. Finsterwalder am Hintereisferner (Lit. 9). Aber erst wieder in neuester Zeit sind durch R. Haefeli und P. Kasser derartige Messungen am großen Aletschgletscher durchgeführt worden (Lit. 31, 46). An verschiedenen Punkten wurde aus vertikaler und horizontaler Bewegung und Auftrag oder Abschmelzung die Höhenänderung der Oberfläche bestimmt. In den Arbeiten von R. Haefeli wird die vertikale Komponente mit  $tg \beta$  bezeichnet. Der Begriff „vertikale Komponente der Gletscherbewegung“ muß vielleicht trotzdem noch grundsätzlich erklärt werden:

Das Fließen des Gletschers erfolgt nicht einfach in einer horizontalen oder in der Ebene der Gletscheroberfläche, sondern in einem bestimmten Winkel zur Oberfläche und zur Horizontalen. Jedes Jahr bringt große Beträge an Auftrag oder Abschmelzung. Trotz allgemeinem Gletscherückgang bleibt aber die Oberfläche, zumindest im Firnfeld und der oberen Zunge, der Höhe nach, annähernd erhalten. Daraus ergibt sich zwangsläufig, daß die Gletscherbewegung den größten Teil der Akkumulation und der Ablation kompensiert, das heißt im Firnfeld den Betrag des Auftrags abtransportiert und an der Zunge annähernd die Abschmelzung ergänzt. Demnach muß die Bewegung im Firngebiet viel steiler nach unten erfolgen, als die Oberfläche geneigt ist. In den tieferen Lagen des Nährgebietes, mit dem Geringerwerden des jährlichen Akkumulationsüber-

2 deckung im April und Mai zusammen. Es ist also anzunehmen, daß das Gewicht des Schneeauftrages diese Bewegungssteigerung hervorruft. Es überrascht jedoch, daß die im Verhältnis zur Gesamtdicke des Gletschers von ca. 50 m geringe Schneedecke von ca. 3 m eine Geschwindigkeitsänderung von 20 bis 30% bewirken kann. Für den Gletscherkörper, der hier noch zum Teil aus Firn besteht, darf man eine Dichte von 0,8 annehmen. Die Schneedecke hat um diese Jahreszeit höchstens eine Dichte von 0,35. Das Geschwindigkeitsverhältnis von Schneedecke und Gletscher beträgt demnach 1 zu 40. Es muß also eine unverhältnismäßig starke Erhöhung der Plastizität des Eises und des Druckes stattfinden. Mit der Annahme der Fortpflanzung der Geschwindigkeitserhöhung durch eine Druckwelle lassen sich die Verlagerungen der Zone der Maxima erklären, die Verdoppelung in der Mitte des Gletschers durch die Druckwelle von den kürzeren Seitengletschern. Eine annähernd befriedigende Erklärung für die örtliche und seitliche Verteilung der Minima ergibt sich nur, wenn man das Minimum als eine zweitrangige Folgeerscheinung betrachtet. Zur Festigung dieser verschiedenen Annahmen, auf die sich die Erklärungen stützen, wäre es notwendig zum Vergleich ähnliche Arbeiten heranzuziehen. Leider wurden bisher nirgends ähnliche Messungen mit der nötigen Unterteilung des Meßzeitraumes und gleichzeitiger Erfassung des ganzen Gletschers durchgeführt.

Einen allgemeinen Vergleich der Ergebnisse ermöglichen die Arbeiten von A. Blümcke und S. Finsterwalder 1900—1904 am Hintereisferner (Lit. 8, 9) und die Messungen von W. Pillewizer am Mittelbergferner (Lit. 52). Die Messungen von A. Blümcke und S. Finsterwalder am Hintereisferner wurden an 18 Meßpunkten vorgenommen. Leider sind mehr als die Hälfte der Messungen in einem Gebiet durchgeführt worden, das heute schon lange eisfrei ist. Die Bestimmung erfolgte durch Rückwärtschnitte Mitte Juli und Mitte September jeden Jahres. Die Geschwindigkeit der zwei Sommermonate wurde der des übrigen Jahres gegenübergesetzt und als Sommer- und Wintergeschwindigkeit bezeichnet. Es ergab sich auf der unteren Zunge eine im Sommer höhere Geschwindigkeit, dieser Unterschied wurde gletscheraufwärts geringer. Im oberen Teil der Zunge war Sommer- und Wintergeschwindigkeit gleich. Im Bereich der Firnlinie überwog die Wintergeschwindigkeit. Wenn der Vergleich nicht absolut lagemäßig vorgenommen, sondern auf die zurückgezogene Zunge reduziert wird, ergeben sich heute dieselben zeitlichen Verhältnisse wie damals. Die Geschwindigkeiten sind bedeutend geringer, die Schwankung aber viel größer geworden. Im unteren Zungenbereich fällt das Maximum der Bewegung in die beiden Sommermonate. Gletscheraufwärts, wo das

nissen der Refraktionsfaktor noch größer wird, und auch die Schwankung der Refraktion sich vergrößert.

Fehler aus der Refraktion hätte man mit Hilfe einer genügenden Menge meteorologischer Daten verbessern können. Diese hätten jedoch in keinem Fall in ausreichendem Maße beschafft werden können. Aus demselben Grunde konnte auch eine Auswertung der Messungen im umgekehrten Sinne zur Bestimmung der Refraktion nicht durchgeführt werden.

Unter Verzicht auf eine Untersuchung jahreszeitlicher Schwankungen konnten dennoch die für diese Arbeit notwendigen Werte gewonnen werden. Aus ausgewählten Messungen mit möglichst großem Zeitabstand, aber möglichst geringen, in der Zwischenzeit am Meßpegel erfolgten Änderungen, ergab sich doch eine gute Arbeitsgrundlage für eine Haushaltsuntersuchung.

Die Berechnung (Tabelle 13) erfolgte also nur aus 2 Messungen für jeden Pegel. Aus der Entfernung  $e$  zum Meßpunkt und  $tg \beta$ , dem  $tg$  des Höhenwinkels, erhält man  $h$ , den Höhenunterschied zwischen Theodolit und dem Ziel. Die Entfernung wurde aus den Tabellen der Horizontalgeschwindigkeit errechnet, indem  $e_0$  durch  $\cos \varphi$ , dem Seitenwinkel der betreffenden Messung, dividiert wurde:  $e = \frac{e_0}{\cos \varphi}$ . Die Differenz der Höhen  $h$  aus den beiliegenden Messungen ist  $\Delta h$ . Zu  $\Delta h$  werden die Korrekturen aus der Instrumentenhöhe und aus den Veränderungen am Meßpegel addiert. Man erhält den vertikalen Weg. Aus den Tabellen der Horizontalbewegung entnimmt man den horizontalen Weg des gleichen Meßzeitraumes. Vertikaler Weg durch horizontalen Weg gibt den Tangens des Neigungswinkels der Bewegungsrichtung. Es ist dies der Neigungswinkel der Bewegung zur Horizontalen.

Wie erwartet, zeigt die Bewegung im Firngebiet eine stärkere Neigung. Gletscherabwärts verläuft die Fließrichtung immer flacher. Wie schon durch die Messungen von A. Blümcke und S. Finsterwalder, konnte auch bei dieser Untersuchung an den seitlichen Zungenrändern und am Zungenende eine aufwärts gerichtete Bewegung festgestellt werden. Im Punkt II 1 erfolgt die Bewegung am steilsten nach oben, in einem Winkel von  $35^\circ$ . In diesem Bereich läuft die Mittelmoräne zwischen Hintereisferner und Langtaufererjochferner seitlich aus. Das Eis wird hier sehr stark am rechten Uferhang emporgeschoben. Auch die am Zungenende aufwärts gerichtete Bewegung entsteht durch ein Aufstauen und Aufschieben auf die davor befindlichen, nur mehr langsam bewegten Eismassen. Diese Neigungen der Bewegung sind in der Karte 27 eingetragen.

schusses, ist auch das Einsinken unter die Oberfläche geringer. Im Bereich der Firnlinie ist der einzige Ort, wo die Bewegung parallel zur Ebene der Gletscheroberfläche erfolgt. Gletscherabwärts im Zehrgebiet muß mit dem Zunehmen der Ablation auch das Aufsteigen aus der Oberfläche größer werden. Trotz diesem „Aufsteigen“ laufen die Bewegungslinien infolge der stark geneigten Oberfläche im allgemeinen immer noch im Bezug auf den Horizont abwärts geneigt. Wie aber bereits die Messungen von A. Blümcke und S. Finsterwalder zeigen, kann in den Randgebieten und am Ende der Zunge diese Bewegung sogar relativ zur Horizontalen aufwärts gerichtet sein.

Die Bestimmung der vertikalen Bewegung erfolgte gleichzeitig mit der Erfassung der horizontalen Geschwindigkeit. Bei jeder Einmessung der Pegelstangen wurde auch der Höhenwinkel abgelesen. Es sollten auch hier jahreszeitliche Schwankungen festgehalten werden. Leider konnte kein so brauchbares Material gewonnen werden, wie aus der Messung der Horizontalgeschwindigkeit. In den Messungen traten so große Streuungen auf, daß dieselben unmöglich eine tatsächliche Bewegung darstellen können. Meine Erklärung dafür war das Auftreten einer extrem großen Refraktion. Der wichtigste Grund zu dieser Annahme war, daß diese Fehler besonders groß wurden, wenn der Meßstrahl bereits nahe am Standpunkt knapp über die Eisoberfläche strich. Eine Erklärung hierfür könnte sich aus den Untersuchungen von H. Hoinkes ergeben, der in der Luftschicht zwischen der Eisoberfläche und 2 bis 3 m darüber eine Temperaturumkehr feststellte, die eine Differenz von mehreren Celsiusgraden betragen konnte. Dr. Eder, Zivilgeometer in Innsbruck und M. F. Meier, Mitarbeiter der Sascatshevan-Untersuchung, bestätigen, daß unter ähnlichen Meßbedingungen dieselben Erscheinungen auftreten können.

Eine neue, erst im März 1957 in der Zeitschrift für Vermessungswesen erschienene Arbeit von H. Lichte (Lit. 46) untersucht die Refraktion auf dem grönländischen Inlandeis. Es treten bei einer Meßreihe an der Station Eismitte große Änderungen des Refraktionsfaktors  $k$  auf,  $k$  schwankt zwischen  $-1,3$  und  $+3,0$ . Bei normalen Verhältnissen wird im allgemeinen  $k$  mit  $-0,13$  angenommen. Berechnen wir die Höhenänderung, die sich aus den angegebenen Extremwerten des Refraktionsfaktors ergibt für eine Meßentfernung von 800 m (= die größte am Hintereisferner vorkommende Meßentfernung), so erhalten wir eine Differenz von 22 cm. Wie H. Lichte angibt, wird bei der Messung im Inlandeis der Refraktionsfaktor dadurch verkleinert, daß sich der Meßstrahl immer in Bodennähe befindet und ähnlich einer Wellenlinie nach oben und unten gebrochen wird. Es besteht also die Möglichkeit, daß unter ungünstigen Verhält-

### Eine Messung der Bewegung am Untergrund des Gletschers

Für alle Fragen der Gletscherdynamik und auch zur Bestimmung der Gletschererosion wäre es eine grundlegende Notwendigkeit, annähernd die Fließgeschwindigkeit des Eises im Innern des Gletschers und an seinem Grund zu kennen. Die Unmöglichkeit, darüber ausreichende und genaue Angaben zu bekommen, erklärt die sich widersprechenden Theorien über die Bewegung des Eises in der Tiefe. Die verschiedenen Ansichten, einerseits die Annahme einer mit der Tiefe abnehmenden Fließgeschwindigkeit, andererseits einer zunehmenden Geschwindigkeit, förderten die Versuche zur Lösung dieser Frage.

Die Strömungstheorie, die S. Finsterwalder begründete und die von Lagally ausgebaut wurde, rechnet auf Grund der in anderen Medien gültigen Gesetze mit einer Abnahme der Geschwindigkeit nach der Tiefe. Die Theorie muß jedoch für die Größenordnung dieses Abnehmens und die Geschwindigkeit am Untergrund eine veränderliche Annahme setzen. Verschiedene Beobachtungen, besonders am Hintereisferner, wurden nach reiflicher Überlegung als Beweis dieser Theorie angesprochen. Am Hintereisferner hatten sich alte in den Bohrlöchern steckende Gestänge im Laufe der Zeit in die Richtung des Fließens geneigt. Obwohl man ein Vorbeifließen des Eises an den dünnen Stangen in Erwägung zog, konnte das nur eine höhere Geschwindigkeit an der Oberfläche als in der Tiefe bedeuten.

Die Untersuchungen von R. Streiff-Becker am Claridenfirn (Lit. 66) brachten entgegengesetzte Ergebnisse. Oberhalb eines Profils, in dem die Oberflächengeschwindigkeit gemessen war, wurde der Jahresüberschuß der Akkumulation bestimmt. Annähernd dieselbe Menge muß im Jahr auch durch den Querschnitt im begrenzten Profil fließen. Die Durchflußmenge ergab sich als so groß, daß bei Annahme der größten noch wahrscheinlichen Tiefe im Innern des Gletschers eine weit höhere Geschwindigkeit herrschen muß als an der Oberfläche. Trotzdem erscheint diese Theorie einer im Nährgebiet mit der Tiefe zunehmenden Geschwindigkeit als unwahrscheinlich. Besonders in einem breiten Firnfeld müßten die oberen Firnschichten auf den tieferen mindestens gleich schnell mitschwimmen.

In den Jahren 1948/50 gelangen M. F. Perutz am Jungfraufirn (Lit. 50) Messungen, die R. Streiff-Becker veranlaßten, seine Theorie zu revidieren (Lit. 67). Werte für die Geschwindigkeit in der Tiefe wurden mit folgender Maßanordnung gewonnen: In ein Bohrloch wurde ein Rohr versenkt und die Neigung des Rohres in gewissen Zeitabständen mit einem Klinometer gemessen. Diese Messungen ergaben eindeutig eine Abnahme der Geschwindigkeit nach der Tiefe. Die gleichen Ergebnisse lieferte eine Messung

Die Werte, die den tatsächlichen Einfluß der Bewegung auf den Haushalt des Gletschers kennzeichnen, sind die Neigungen der Bewegung im Bezug auf die Gletscheroberfläche. Diese Werte sind auf der Tabelle zur Berechnung des Jahreshaushaltes ersichtlich (Tabelle 15). Sie wurden in die Karte 28 eingetragen. Im Bereich des Profils V, wo auch für das zweite Untersuchungsjahr 1953/54 die Firnlinie anzusetzen ist, verläuft die Bewegung in der Ebene der Gletscheroberfläche. Gletscheraufwärts, im Firngebiet auch nach beiden Seiten hin, nimmt die Neigung des Einsinkens zu. Gletscherabwärts wird das Heraussteigen der Bewegung immer größer, seinen höchsten Wert erreicht es am linken Gletscherrand.

Zur Bestimmung des Gletscherhaushaltes wurden für beide Beobachtungsjahre (1952/53 und 1953/54), da die Horizontalgeschwindigkeit praktisch gleich geblieben ist, auch gleiche vertikale Bewegung angenommen. Eine Berechtigung dazu ergibt sich aus der Tatsache, daß im Mittelteil des Gletschers, wo sich der Gletscherrückgang nicht so stark bemerkbar macht wie an der Zunge, die Bewegung heute in derselben Neigung erfolgt, wie bei den Messungen von A. Blümcke und S. Finsterwalder.

Durch das, in gewissem Sinne gesetzmäßige Verhalten der Bewegungsneigung zur Gletscheroberfläche ergab sich aus den gewonnenen Werten eine neue Möglichkeit, den Gletscherhaushalt mit großer Genauigkeit zu berechnen. Die Begründung und die Anwendung dieser Methode folgen im Kapitel der Haushaltsberechnung.

### **Versuchsmessung der täglichen Schwankung der Gletscherbewegung**

Im Rahmen dieser Arbeit wurden auch Versuchsmessungen durchgeführt, die hier nur kurz erwähnt werden sollen.

Angeregt durch die Messung von G. Lindig während des Gletscherkurses 1953, unternahm der Verfasser 2 Meßreihen, eine davon mit Hilfe von R. Rudolph, um den tageszeitlichen Gang der Gletscherbewegung zu untersuchen. Die Bewegung wurde alle 2 Stunden mit einem Theodolit aus der Winkeländerung bestimmt. Die erste Meßreihe umfaßt 72 Stunden die zweite 48. Das Ergebnis zeigte vollkommen unregelmäßige Bewegungen, sogar gelegentliche Rückläufe. Messungen von G. Lindig (Hintereis- und Gurglerferner) und A. Bauer (Grönland) zeigen ähnliche Tendenzen. Das Material wurde zur Auswertung und Veröffentlichung G. Lindig übergeben (Lit. 49).

der vorgeschrittenen Jahreszeit konnte die Messung nicht mehr wiederholt werden. Das Ergebnis war eine Oberflächengeschwindigkeit von 1,4 cm pro Tag und eine Sohlengeschwindigkeit von 1,0 cm pro Tag.

Leider läßt sich die Brauchbarkeit dieser Werte in bezug auf allgemeine Vergleiche anzweifeln. Die Meßstelle liegt im seitlich auskeilenden Ende des Langtaufererjochferners. Es treten in diesem Bereich starke Unregelmäßigkeiten in der Bewegung auf, und das Eis ist stark von Spalten und Scherflächen durchzogen. Auch Ing. Lindig hat in diesem Bereich eine Messung in einem inversen Gletschertor durchgeführt. Seine Meßstelle lag ungefähr 80 m gletscherabwärts von der oben angegebenen. In diesem noch stärker gestörten Gletscherteil erhielt er eine am Untergrund eindeutig höhere Geschwindigkeit als an der Oberfläche.

Die Bedeutung der hier angegebenen Messung liegt also in erster Linie darin, als Beispiel einer Meßanordnung zu dienen, die auch an anderen Gletschern brauchbare Ergebnisse liefern kann.

### Fließgeschwindigkeit und Eisdicke

Durch die seismischen Messungen von O. Förtsch und H. Vidal im Sommer 1954 (Lit. 27) ist für den ganzen Gletscherbereich unter 3000 m die Eisdicke verhältnismäßig genau bestimmt worden.

Nach der Formel von Lagally ist die Fließgeschwindigkeit durch die Eisdicke, die Neigung und die Elastizität des Eises zu bestimmen. Man kann, wenn die Fließgeschwindigkeit des Eises bekannt ist, die Tiefe  $z$  nach folgender Formel berechnen:

$$z = 8,4 \sqrt{\frac{u_0}{\sin \alpha}}$$

Die Multiplikationskonstante und der Elastizitätskoeffizient des Eises sind in der Zahl 8,4 zusammengefaßt.  $u_0$  ist die Jahresgeschwindigkeit in Metern.  $\sin \alpha$  ist die Neigung der Oberfläche.

Der Vergleich zwischen den gemessenen und den gerechneten Werten ergibt keine Übereinstimmung.

	Rechnung	Messung	Rechnung	Messung
Mitte Profil I	25.3 m	55 m		0.46
II	60.2 m	125 m		0.48
III	123.9 m	248 m		0.50
VI	131.7 m	230 m		0.57
V	159.7 m	204 m		0.78
VI	183.8 m	111 m		1.66
VII	72.7 m			
VIII	92.2 m			

mit derselben Anordnung, die R. P. Sharp 1951 am Malaspina-Gletscher (Lit. 65) durchgeführt hat.

Der Bau von Stollen durch die Eiskalotte am Jungfraujoch im Jahre 1950 ergab neue Gesichtspunkte. Während sich im Stollen im Z'Mutt-Gletscher (Lit. 30) und im Mt.-Collon-Gletscher (Lit. 29) im temperierten Eis die üblichen an der Oberfläche größeren Geschwindigkeiten ergaben, zeigten sich dort im kalten Eis oder Firn der Eiskappe andere Verhältnisse (Lit. 32). In der Mitte der Kalotte, an der Scheide zwischen den zwei Abflußrichtungen, ergab sich in der Tiefe eine größere Geschwindigkeit. Gegen den Rand der Kappe mit zunehmender Neigung der Eisdecke ändert sich wieder die Bewegungsverteilung und die Oberflächengeschwindigkeit ist am größten. Eine besondere Erwähnung verdienen die Untersuchungen am Mt.-Collon-Gletscher (oder Bas Glacier d'Arolla). Es wurden hier unterhalb einer Gefällstufe und entlang am Gletscherbach Stollen vorgetrieben und diese in jeder nur möglichen Weise für Messungen ausgenützt.

Diese Untersuchungen haben noch keine eindeutige Lösung des Problems gebracht. Umsomehr mußte es ausgenützt werden, als sich am Hintereiserner eine Möglichkeit ergab, mit einem Theodolit die Geschwindigkeit am Untergrund des Gletschers zu messen.

Etwa 1 km oberhalb des Zungenendes, unmittelbar bei Punkt B, hat ein Bach, der von der vorderen Hintereisspitze herunterfließt, einen Tunnel unter den Gletscher gegraben. Da dieses inverse Gletschertor sehr steil ist und die Felsstufen von lockerem Geröll bedeckt sind, konnte man erst im Spätherbst 1954 nach dem Eintrocknen oder Einfrieren der Bäche in den Tunnel einsteigen. Die Marke wurde so tief als möglich, daß sie von außen gerade noch sichtbar war, angebracht. Die Berechnung ergab eine Eisdicke von 45 m und 54 m Horizontalentfernung vom Gletscherrand. Genau über der Marke am Untergrund wurde auch auf der Oberfläche ein Holzstab eingebohrt. Das Ziel im Innern des Tunnels war eine 1 m lange Holzstange, die  $\frac{1}{2}$  m über der Grundmoräne in die Seitenwand des Stollens eingebohrt war. Sie wurde im Bohrloch festgekeilt und war auch noch nach einigen Tagen unverrückbar mit dem Eis verbunden. An diesen Stab war eine kleine, mit einer Batterie gespeiste Lampe angebracht, die ein einwandfrei sicheres Ziel bot.

Da der Tunnel senkrecht zur Fließrichtung verläuft und daher auch der Meßstrahl zur Fließrichtung fast genau senkrecht steht, genügte es, die Bewegung aus der Winkeländerung zu bestimmen. In einem Zeitabstand von 74 Stunden wurden die beiden Marken an der Oberfläche und im Tunnel und 2 Fernziele in 3 Sätzen mit dem Wild T 2 eingemessen. Infolge

um auch zu den tieferen Schichten zu gelangen. Für die Arbeiten im zweiten Untersuchungsjahr wurde von der TIWAG (Tiroler Wasserkraftwerke AG) ein Schneedichtemesser zur Verfügung gestellt. Dieses bestand aus verschiedenen Aluminiumrohren, die in den Schnee gebohrt wurden und mit dem darin steckenden Bohrkern gewogen wurden. Für die vorliegende Arbeit ist an zwei Zeitpunkten die Schneedichte von besonderer Bedeutung. Einmal im Mai, zur Zeit des Geschwindigkeitsmaximums im Firngebiet, wo möglicherweise das Gewicht der Schneedecke die Geschwindigkeitssteigerung hervorruft und ein zweitesmal im September und Oktober am Ende des Haushaltsjahres zur Bestimmung der Massenbilanz. Die im folgenden angegebenen Werte stellen die durchschnittliche Dichte der aus dem betreffenden Jahr stammenden Schneedecke dar.

26. IV. 1953: VII 3 — 0,34, VIII 3 — 0,34

27. IV. 1953: VI 4 — 0,36, III 4 — 0,38

3. IX. 1953: VII 3 — 0,48

30. X. 1953: 3100 m Höhe unter dem Weißkugeljoch — 0,51.

Man darf also für Mai eine durchschnittliche Schneedichte von 0,35 annehmen, für das Ende des Haushaltsjahres eine Dichte von 0,5.

In der Tabelle 14 sind für die beiden untersuchten Haushaltsjahre die höchste gemessene Schneelage und der Jahresendstand aus Akkumulation und Ablation angegeben. Einige Werte des Sommers 1953 in den beiden untersten Profilen I und II unterliegen einer kleinen Unsicherheit durch gelegentliches Ausschmelzen einiger Pegel. Die Daten wurden durch Vergleich mit den Nachbarpegeln ergänzt. Im zweiten Arbeitsjahr wurden die beiden obersten Firnfeldprofile VII und VIII nicht beobachtet. Um für die Haushaltsuntersuchung Werte zu haben, wurden die Auftragsmengen aus dem darunterliegenden Profil VI extrapoliert. Da hier im Durchschnitt der Akkumulationsüberschuß um 1 m größer war, wurde auch für die beiden oberen Profile ein Meter Firnüberschuß mehr angenommen als im Vorjahr.

Der Vergleich der beiden Jahre ergibt für den Winter 1953/54 an der Zunge eine etwas geringere Schneelage, im oberen Teil des Gletschers ist sie annähernd gleich. Beim Vergleich des Jahresendstandes ergibt sich jedoch ein bedeutend anderes Bild. Dies geht deutlich aus Diagramm 47 hervor, das die Kurven aus Ablationsmenge und Seehöhe darstellt. Vom Zungende bis 2700 m ist die Ablation in beiden Jahren fast gleich, im zweiten Jahr nur um geringes kleiner. Erst in den über 2700 m liegenden Bereichen macht sich der Unterschied zwischen den beiden Jahren stark bemerkbar. Die Firnlinie liegt 1954 100 bis 150 m tiefer und der Firnüberschuß ist bedeutend größer als im Vorjahr. Auch in den beiden Karten 29

Wenn wir diese Werte in ein Diagramm eintragen (Diagramm 46) und durch Planimetrieren das mittlere Verhältnis bestimmen, so zeigt sich, daß die Rechnung im Firnfeld 1,52 der gemessenen Tiefe ergibt, an der Zunge nur 0,53 und im Mittel des gesamten Gletschers 0,78. Die größte Eisdicke fällt nicht mit der größten Fließgeschwindigkeit zusammen. Die größten Geschwindigkeiten treten im Profil VI auf, die größte Tiefe aber im Bereich der Einmündung des Langtaufererjochferners, also etwa 2,5 km gletscherabwärts.

Auch dieser Umstand deutet darauf hin, daß sich der Gletscher in seinem gesamten Aufbau nicht mehr im Gleichgewicht befindet. Da die Fließgeschwindigkeit wohl sicher nicht allein durch Neigung und Eisdicke, sondern auch durch den Eisnachschub von oben bestimmt wird, darf man annehmen, daß die Zunge in ihrer heutigen Größe nicht mehr dem Haushaltszustand entspricht. Ein großer Teil der Zunge ist daher nur mehr ein Überrest eines früheren Hochstandes, der zu langsam abschmilzt. Demnach ist anzunehmen, daß eine Übereinstimmung von Rechnungswerten nach Lagally mit gemessenen Werten wohl nur an einem annähernd stationären Gletscher auftreten wird.

### Akkumulation und Ablation

Durch die Vereinigung der Arbeiten von R. Rudolph und des Verfassers zu einer Arbeitsgemeinschaft war es notwendig, die Ausarbeitung der verschiedenen Abschnitte entsprechend aufzuteilen. Die Bearbeitung der Akkumulation und der Ablation im einzelnen und in ihrer Beziehung zu den meteorologischen Daten und den Abflußmengen des Gletscherbaches übernahm R. Rudolph.

Es war jedoch für die Haushaltsberechnung unbedingt notwendig, zumindest die Jahreswerte aus Auftrag und Abschmelzung und einige wichtige Schneedichtebestimmungen heranzuziehen.

Die Messung der Akkumulations- und Ablationswerte erfolgte an den 54 Meßpegeln, die auch zur Geschwindigkeitsmessung dienten. Die Werte der 40 Pegel, die im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft nachträglich aufgestellt wurden, sind nicht in diese Arbeit miteinbezogen. Das Aufstellen und das laufende Nachbohren an der Zunge erfordert sehr viel Arbeitszeit.

Zur Messung der Schneedichte wurden 2 verschiedene Geräte verwendet. Das zuerst verwendete bestand aus einem Zylinder von 10 cm Höhe und 250 ccm Rauminhalt zum Ausstechen des Schnees. Der Zylinder wurde samt Inhalt auf einer kleinen Briefwaage gewogen. Das Arbeiten mit diesem Gerät erforderte allerdings, einen Schacht in den Schnee zu graben,

eines Gletschers je nach Größe desselben erst nach einer kürzeren oder längeren Zeitspanne sich über den ganzen Gletscher bemerkbar macht. Ist zum Beispiel bei einem langen Gletscherrückgang die Zunge diesem Rückgang erst verzögert gefolgt, so ist das Ablationsgebiet zu groß und bewirkt im Vergleich zum Auftrag zu großen Massenverlust. Die auf diesem Wege gewonnenen Ergebnisse bringen also wohl die absoluten Zahlen der Volumsbilanz, können aber eingetretene Veränderungen am Gletscherhaushalt nicht in vollem Maße anzeigen. Sie charakterisieren den Zustand des Gletschers nur dann, wenn er seit einer Reihe von Jahren sich zurückzog, stationär blieb oder vorstieß.

Eine Haushaltsberechnung muß daher die verzögerten Auswirkungen in den unteren Teilen des Gletschers ausschalten und die Ernährungslage des Firngebietes gesondert betrachten. Das heißt, sie muß das Verhältnis des Jahresüberschusses der Akkumulation zum jährlichen Abfluß aus dem Firngebiet untersuchen.

In der Veröffentlichung „Eishaushalt von Gletschern und Niederschläge in den Gletschergebieten“ (Lit. 25) erläutert R. Finsterwalder eine Methode zur Bestimmung des Akkumulationsüberschusses, die in umgekehrter Arbeitsweise auch zur Bestimmung des Eishaushaltes dienen könnte. Sie würde die oben gestellten Forderungen erfüllen. Nach dieser Methode wurde besonders auf Expeditionen, 1928 in Pamir und 1934 am Nanga Parbat durch R. Finsterwalder und 1938 durch W. Pillewizer in Spitzbergen mit Erfolg der Jahresauftrag bestimmt. Aus Geschwindigkeitsmessungen in einem Profil nahe der Firnlinie wird nach Lagally die Eisdicke und der Durchfluß errechnet. Dividiert man die jährliche Durchflußmenge durch die über dem Profil liegende Fläche, so erhält man den durchschnittlichen Akkumulationsüberschuß. Andererseits kann man untersuchen, ob der im Firngebiet gemessene Überschuß der Durchflußmenge entspricht. Eine leider große Unsicherheit ergibt sich aus der Ungenauigkeit der nach Lagally berechneten Durchflußmenge. Das Verhältnis des Auftrages zur Durchflußmenge zeigt den Stand der Ernährung an.

Auf Grund der großen Zahl verschiedener Messungen ergab sich am Hintereisferner eine vollkommen neue Möglichkeit einer Bestimmung des Gletscherhaushaltes. Diese Methode benützt dazu die vertikale Komponente der Gletscherbewegung. Sie gründet sich auf 2 grundsätzliche Feststellungen:

*Da an einem stationären Gletscher die Oberfläche von Jahr zu Jahr konstant bleibt, muß zu ihrer Erhaltung der Auftrag oder die Abschmelzung von der vertikalen Bewegung ausgeglichen werden. Im Nährgebiet muß also im Jahr, die infolge der vertikalen Bewegung einsinkende Firn-*

und 30 kommt dies deutlich zur Geltung. Sie zeigen Linien gleichen Firnüberschusses und gleicher Ablation.

Auch wenn man durch Planimetrieren aus diesen Karten die absoluten Mengen der Akkumulation und Ablation bestimmt, zeigt sich der Unterschied zwischen den beiden Jahren, obwohl die Werte durch den schon mehrmals erwähnten Umstand der unverhältnismäßig großen Zunge verschoben sind. Man erhält, reduziert auf die Dichte von Wasser 1,0 und extrapoliert auf die gesamte Gletscherfläche für 1952/53 folgende Werte: Auftrag + 1,36 Mill. m<sup>3</sup>, Abschmelzung - 10,20 Mill. m<sup>3</sup>, Gesamtverlust - 8,84 Mill. m<sup>3</sup>. Für 1953/54: Auftrag: + 3,53 Mill. m<sup>3</sup>, Abschmelzung - 8,49 Mill. m<sup>3</sup>, Gesamtverlust - 4,96 Mill. m<sup>3</sup>.

Das zweite Jahr zeigt also trotz vollkommen verändertem Ernährungszustand noch einen großen Verlust in der Massenbilanz.

Durch eine neue Methode muß also versucht werden, diese Zahlen in ihrer wahren Bedeutung für den Gletscherhaushalt auszuwerten.

#### **Der Haushalt des Hintereisferners in den Jahren 1952/1953 und 1953/1954**

Wie schon in der Einleitung kurz gesagt wurde, bietet eine Bilanz des Gletscherhaushaltes die Möglichkeit, die Wirkung eines Jahres auf den allgemeinen Ernährungszustand des Gletschers in einer klaren Form zahlenmäßig auszudrücken. Es ist besonders H. W: son Ahlmann zu danken, daß die Bedeutung einer Haushaltsberechnung für die glaziologische Forschung erkannt wurde. Er selbst hat nicht nur in verschiedenen Veröffentlichungen Untersuchungen dieser Art gefordert, sondern bei seinen Forschungen die Haushaltsbestimmung zum folgerichtigen Endziel der Arbeit gemacht. Seine Expedition zum „14.-Juli-Gletscher“ in Westspitzbergen und zum Hofs-Jökull am Vatna-Jökull in Island waren darauf ausgerichtet, mit einer Reihe anderer meteorologischer und glaziologischer Daten vor allem die Unterlagen für eine Haushaltsberechnung zu gewinnen und entsprechend auszuwerten. Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden in den Geografiska Annaler veröffentlicht (Lit. 1—5).

H. W: son Ahlmann bestimmt möglichst genau für den ganzen Gletscher sowohl Menge wie Dichte des Jahresüberschusses an Akkumulation und Ablation. Subtrahiert man den Rauminhalt der Ablation vom Rauminhalt der Akkumulation, beide sind auf die Dichte vom Wasser 1,0 bezogen, so ergibt sich die Jahresbilanz. Da diese Untersuchungen in die Zeit eines besonders starken Gletscherrückganges fielen, ergab die Bilanz bei beiden Gletschern ein „erschreckend“ großes Defizit. Diese Methode berücksichtigt jedoch nicht, daß eine Veränderung im Ernährungszustand

kale Bewegung Eismengen mit dem Wasserwert von  $+ 2,11$  Mill.  $m^3$  auf. Es ergibt sich die unerwartet geringe Differenz von  $-0,07$  Mill.  $m^3$ . Diese Differenz würde, wenn die Berechnung fehlerfrei wäre, den Eisverlust durch die Druckschmelze und die Erdwärme am Untergrund darstellen. Das wäre für den Durchschnitt der Gesamtfläche des Gletschers ein Verlust von  $0,75$  cm Wasser. Wenn auch in letzter Zeit der Betrag der Abschmelzung am Untergrund allgemein als sehr klein angenommen wird, ist dieser errechnete Wert doch zu gering. Wenn auch die vertikale Bewegung genau gemessen wurde, ergeben sich doch eine Reihe von Fehlerquellen aus der Bestimmung der Oberflächenneigung des Gletschers mit Hilfe der Karte, durch das Einzeichnen in die Karte und durch zuwenig genaues Planimetrieren. Es läßt sich jedoch aus dem Wert feststellen, daß trotz der enthaltenen Fehler, die oben gemachten Angaben berechtigt sind. Es ist noch besonders darauf hinzuweisen, daß die errechneten  $2,18$  Mill.  $m^3$  Wasser, die im Firngebiet einsinken, auch dem Durchfluß durch das Profil der Firnlinie entsprechen.

Aus den in den Karten 32 und 33 eingetragenen örtlichen Bilanzbestimmungen läßt sich für Nährgebiet und Zehrgebiet eine getrennte Haushaltsberechnung durchführen. Für das Haushaltsjahr 1952/53 ergibt sich auch für das Firngebiet ein Verlust von  $-3,28$  Mill.  $m^3$  Firn, das sind  $-1,64$  Mill.  $m^3$  Wasser. Die Zunge verlor  $-8,01$  Mill.  $m^3$  Eis oder  $7,21$  Mill.  $m^3$  Wasser. Das ist für den gesamten Gletscher ein Verlust von  $-8,85$  Mill.  $m^3$  Wasser, oder als Höhenänderung ausgedrückt, ein durchschnittlicher Höhenverlust von  $-95$  cm. Das Haushaltsjahr 1953/54 hat jedoch im Firngebiet eine positive Bilanz mit einem Firnüberschuß von  $+ 1,50$  Mill.  $m^3$  oder  $+ 0,75$  Mill.  $m^3$  Wasser. Im Nährgebiet sind in diesem Jahr  $-6,92$  Mill.  $m^3$  Eis, das sind  $-6,22$  Mill.  $m^3$  Wasser verloren gegangen. Das ist für den ganzen Gletscher ein Verlust von  $-5,47$  Mill.  $m^3$  Wasser oder ein durchschnittlicher Höhenverlust von  $-59$  cm. Auch hier wird, wenn man die Gesamtbilanz des Gletschers betrachtet, der Wert durch die zu lange Zunge und die entsprechend erlahmende Bewegung verfälscht.

Eine ungefähre Kontrolle der errechneten Werte ergibt sich daraus, daß die Eismasse durch die Bewegung nur verlagert und nicht verändert wird. Die Gesamtsumme aus Akkumulation und Ablation soll daher mit der Summe der Bilanzberechnung übereinstimmen. Allerdings ist auch hier die unbekannte Größe der Abschmelzung am Untergrund des Gletschers enthalten. Trotzdem ergibt sich für das Jahr 1952/53 eine erstaunliche Übereinstimmung. Die Summe aus Auftrag und Abschmelzung ergab  $-8,84$  Mill.  $m^3$ , die Bilanzberechnung  $-8,85$  Mill.  $m^3$ . Die Fehler durch

*masse dem Betrag entsprechen, den der Jahresüberschuß der Akkumulation bringt. Demgemäß ergänzt im Zehrgebiet das infolge der vertikalen Bewegung relativ zur Oberfläche aufsteigende Eis den Verlust durch die Ablation.*

Durch Vergleich der Beträge von Auftrag oder Abschmelzung mit den Beträgen der vertikalen Bewegung kann der Ernährungszustand für jeden einzelnen Punkt des Gletschers, von dem entsprechende Messungen vorliegen, bestimmt werden.

Der folgende Satz behält seine Gültigkeit, auch wenn Auftrag und Abschmelzung, der allgemeine Ernährungszustand des Gletschers und das Größenverhältnis von Nährgebiet und Zehrgebiet vollkommen außer acht gelassen werden.

*Wenn man die Schmelzung am Untergrund des Gletschers unberücksichtigt läßt, so muß die Volumsänderung im Nährgebiet (bezogen auf die Dichte des Wassers 1,0) durch das jährliche Einsinken gleich groß sein, wie die Volumsänderung (Dichte 1,0) durch das Aufsteigen der Bewegungslinien im Zehrgebiet.*

*Daher entspricht diese Menge auch dem jährlichen Durchfluß (Dichte 1,0) durch das Querprofil der Firnlinie.*

Die Gewinnung der notwendigen Werte für die Haushaltsbestimmung ist aus Tabelle 15 ersichtlich. Die Endwerte der Tabelle 13 wurden extrapoliert und ergaben die vertikale Bewegung für ein Jahr. Durch Reduzieren dieses Wertes auf die geneigte Oberfläche erhalten wir die durch die vertikale Bewegung hervorgerufene Höhenänderung (Karte 31). Positives Vorzeichen bedeutet Aufsteigen der Bewegung aus der Oberfläche, negatives bedeutet Einsinken. Addiert man den Jahreswert aus Akkumulation (+) oder Ablation (−) eines Punktes zum Bewegungswert, so erhält man die Bilanz des betreffenden Punktes. Das ist die Höhenänderung der Jahresoberfläche, resultierend aus Bewegung und Auftrag oder Abschmelzung. Ist also der Bilanzwert negativ, so hat sich die Oberfläche gesenkt und der Ernährungszustand ist daher negativ. Positive Bilanz bedeutet Hebung der Oberfläche und positiven Ernährungszustand. Diese Werte sind in den Karten 32 und 33 dargestellt.

Auch hier konnten durch Planimetrieren in den Karten die verschiedenen Volumen berechnet werden. Die Werte wurden auf die Gesamtfläche des Gletschers extrapoliert und auf die Dichte des Wassers 1,0 bezogen.

Besonders die Berechnung der Volumsänderung durch die vertikale Bewegung brachte gute Resultate. Es ergab sich ein Einsinken im Firngebiet von  $-2,18$  Mill.  $m^3$  Wasser, das heißt, diese Menge wurde auch gletscherabwärts abtransportiert. An der Zunge stiegen durch die verti-

vertikal

mit 97,0 Mill. m<sup>3</sup> erhalten. Die Zunge ist also um 363 Mill. m<sup>3</sup> Eis zu groß. Das Ende der konstruierten Zunge würde direkt unter der Einmündung des Langtauferer Jochferners liegen, derselbe hätte keine Verbindung mehr mit dem Hauptgletscher. Die konstruierte Zunge ist in der Karte 34 dargestellt.

Nach dem Beweis der Richtigkeit und der Verwendbarkeit dieser Methode soll diese letzte angeführte Berechnung zeigen, daß die Anwendung dieser neuen Art der Haushaltsbestimmung berechtigt und notwendig ist.

### Zusammenfassung

Die vorliegende, 1952—1954 am Hintereisferner durchgeführte Arbeit hat die Akkumulation und die Ablation und besonders die Gletscherbewegung, in horizontale und vertikale Komponente getrennt, untersucht. Das Endziel der Arbeit war es, diese Ergebnisse zusammenzufassen und daraus den Gletscherhaushalt der zwei Untersuchungsjahre zu bestimmen.

Die Untersuchung der horizontalen Gletscherbewegung brachte besonders gute Ergebnisse. In einem Gebiet knapp über der Firnlinie zeigt sich die für den flachen Hintereisferner überraschend hohe Geschwindigkeit von durchschnittlich 10 cm pro Tag, die bis zu 14 cm ansteigen konnte. Die jahreszeitliche Schwankung der Bewegung erfährt im Längsverlauf des Gletschers sehr starke Veränderungen. Die Geschwindigkeitsmaxima treten in Form von Druckwellen auf, die sich mit einer Geschwindigkeit von 50 bis 70 m pro Tag gletscherabwärts bewegen. Der Schwankungsschlag kann mehr als  $\pm 50\%$  betragen.

Eine Untersuchung der jahreszeitlichen Schwankungen der vertikalen Bewegungskomponente war wegen der unerwartet großen Fehler durch die Refraktion nicht möglich. Im gesamten ausgewertet ergab sie jedoch gute Werte für die im Nährgebiet relativ zur Oberfläche einsinkende und im Zehrgebiet aufsteigende Tendenz der Bewegung.

Messungen der tageszeitlichen Schwankung der Gletscherbewegung und der Bewegung am Untergrund des Gletschers müssen, mangels Vergleichsmaterials, als Versuche und als Beispiele einer brauchbaren Meßanordnung bewertet werden.

Die Bestimmung von Auftrag und Abtrag an 54 Meßpegeln, die auch zur Ermittlung der Gletscherbewegung dienten, brachte weitere für die Haushaltsberechnung notwendige Werte. Die beiden Beobachtungsjahre waren sehr verschieden. Im Sommer 1953 lag die Firnlinie durchschnittlich bei 3050 m, 1954 aber nur bei 2900 m. Der Auftrag war im Firngebiet dementsprechend um vieles größer (1953/54). Unter 2700 m war in den

die ungenaue Bestimmung der Oberflächenneigung und durch das Interpolieren beim Eintragen in die Karte, lassen für das Jahr 1953/54 keine so gute Übereinstimmung zu. Aus Akkumulation und Ablation ergibt sich ein Massenverlust von  $-4,96$  Mill.  $m^3$  und aus der Bilanzberechnung ein Verlust von  $5,47$  Mill.  $m^3$ . Der Fehler bleibt aber immer noch in einem Bereich von  $10\%$ .

Ein vollkommen fehlerfreies Arbeiten nach dieser Methode wäre nur mit einem ganz dichten Netz von Meßpegeln und einem riesigen Arbeitsaufwand möglich. Die oben angegebenen gegenseitigen Kontrollen zeigen nur einen maximalen Fehler von  $10\%$ . Da für eine Haushaltsberechnung auf jeden Fall verschiedene Faktoren nur äußerst schwer zu bestimmen sind, ist dieser Fehler absolut noch tragbar. Diese kontrollierten Ergebnisse beweisen die Richtigkeit der Arbeitshypothese und zeigen, daß diese Methode auch praktisch anwendbar ist. Die Arbeitsweise dieser Berechnung ermöglicht es also, die Gesamtbilanz so in einzelne Abschnitte aufzuschlüsseln, wie es bereits am Beginn dieses Kapitels gefordert wurde. Diese Methode kann für Nährgebiet und Zehrgebiet, aber bei Bedarf auch für noch kleinere Gletscherabschnitte, getrennt die Bilanz und damit den Ernährungszustand bestimmen.

In der vorliegenden Arbeit wurde mehrmals als Grund für irgendeine Erscheinung die Überlänge der Zunge des Hintereisferners angegeben. Die oben angeführten Berechnungen geben uns auch die Möglichkeit, eine Zunge zu konstruieren, die dem Ernährungszustand des Firngebietes entspricht. Man kann damit beweisen, daß ein großer Teil der Zunge der Überrest eines früheren Hochstandes ist. Dafür müssen notwendigerweise 3 Dinge bekannt sein, die Durchflußmenge durch das Profil der Firnlinie (aus der Volumsänderung durch die vertikale Bewegung =  $2,18$  Mill.  $m^3$ /Jahr), der Untergrund des Gletschers (durch die seismischen Messungen von O. Förtsch und H. Vidal) und die Ablation in den verschiedenen Höhenstufen. (Diagramm 46). Es wurde auf empirischem Weg eine Zunge mit einer entsprechenden Oberfläche konstruiert, so daß die Ablation gleich dem Nachschub von  $2,18$  Mill.  $m^3$  war. Die Firnlinie wurde bei  $2950$  m angenommen und die darüber liegenden Gletscherbereiche bei der Konstruktion außer acht gelassen. Es entstand dabei eine theoretische Zunge von nur  $2100$  m Länge zwischen Firnlinie und Gletscherende. Die heutige Zunge hat aber eine Länge von  $5300$  m. Noch deutlicher beweist ein Vergleich der Volumen der wahren und der konstruierten Zunge die Überlänge des Hintereisferners. Während die tatsächliche Zunge  $460,8$  Mill.  $m^3$  Eis enthält, könnte die jetzige Ernährungslage des Gletschers, entsprechend den gegebenen Formen des Untergrundes, nur eine Zunge

11. A. Blümcke; H. Hess: Studien am Hintereisferner. Mitt. d. D. u. Ö. A. V., Bd. 21, 1895, S. 91, 92.
12. A. Blümcke; H. Hess: Studien am Hintereisferner. Mitt. d. D. u. Ö. A. V., Bd. 22, 1896, S. 46—48.
13. A. Blümcke; H. Hess: Untersuchungen am Hintereisferner. Wissenschaftl. Ergänzungsheft 2, Z. d. D. u. Ö. A. V., 1899.
14. A. Blümcke; H. Hess: Beobachtungen an den Gletschern des Rofentales. Mitt. d. D. u. Ö. A. V., Bd. 26, 1900, S. 39—41.
15. A. Blümcke; H. Hess: Tiefbohrungen am Hintereisferner. Mitt. d. D. u. Ö. A. V., Bd. 27, 1901, S. 280—283.
16. A. Blümcke; H. Hess: Tiefbohrungen am Hintereisferner. Mitt. d. D. u. Ö. A. V., Bd. 28, 1902, S. 254—255.
17. A. Blümcke; H. Hess: Tiefbohrungen am Hintereisferner. Mitt. d. D. u. Ö. A. V., Bd. 30, 1904, S. 33.
18. A. Blümcke; H. Hess: Tiefbohrungen am Hintereisferner. Mitt. d. D. u. Ö. A. V., Bd. 31, 1905, S. 45—47.
19. A. Blümcke; H. Hess: Untersuchungen am Hintereisferner 1906. Z. f. Glkde., Bd. 2, 1907—1908, S. 66.
20. A. Blümcke; H. Hess: Tiefbohrungen am Hintereisferner im Sommer 1908. Z. f. Glkde., Bd. 3, 1908—1909, S. 232—236.
21. A. Blümcke; H. Hess: Tiefbohrungen am Hintereisferner 1909. Z. f. Glkde., Bd. 4, 1909—1910, S. 66—70.
22. A. Blümcke; H. Hess: Tiefbohrungen am Hintereisferner 1910. Z. f. Glkde., Bd. 5, 1910—1911, S. 151, 152.
23. S. Finsterwalder: Ein neues Ergebnis der Bohrungen am Hintereisferner. Mitt. d. D. u. Ö. A. V., Bd. 32, 1906, S. 88.
24. R. Finsterwalder: Geschwindigkeitsmessungen an Gletschern mittels Photogrammetrie. Z. f. Glkde., Bd. 19, 1931, S. 251—262.
25. R. Finsterwalder: Eishaushalt von Gletschern und Niederschläge in Gletschergebieten. Geolog. Rundschau, Bd. 34, 1944, Heft 7, 8, S. 705—712.
26. R. Finsterwalder: Die zahlenmäßige Erfassung des Gletscherrückganges an Ostalpengletschern. Z. f. Glkde., Bd. 2, 1953, S. 198—239.
27. O. Förtsch; H. Vidal: Glaziologische und glazialgeologische Ergebnisse seismischer Messungen an Ötztaler Gletschern. Z. f. Glkde., Bd. 3, 1956.
28. H. Friedel: Die Pflanzenbesiedlung im Vorfeld des Hintereisferners. Z. f. Glkde., Bd. 26, 1938, S. 215—239.
29. R. Haefeli: Some Observations on Glacier Flow. Journal of Glaciology, 1951, Vol. 1, No. 9, 496—500.
30. R. Haefeli: Observations on the Quasi-viscous Behaviour of Ice in a Tunnel in the Z'Mutt Glacier. Journal of Glaciology 1952, Vol. 2, No. 12, 94—99.
31. R. Haefeli: Gletscherschwankung und Gletscherbewegung. Schweiz. Bauzeitung 73/74, 1955/56.
32. R. Haefeli; F. Brentani: Observations in a cold Ice cap. Part. I., Journal of Glaciology, Vol. 2, No. 18, okt. 55, 571—582. Part. II., Journal of Glaciology, Vol. 2, No. 19, march 56, 623—630.
33. H. Hess: Bericht über die Arbeiten am Hintereisferner und Vernagtferner im Ötztal im Sommer 1915. Z. f. Glkde., Bd. 10, 1916, 1917, S. 117—119.
34. H. Hess: Die Gletscher des Rofentales. Z. f. Glkde., Bd. 10, 1916, 1917, S. 158—166.
35. H. Hess: Beobachtungen an den Gletschern im Hintergrund des Venter Tales im Ötztal 1918—1919. Z. f. Glkde., Bd. 11, 1918, S. 188—190.
36. H. Hess: Nachmessungen an den Gletschern des Rofentales. Z. f. Glkde., Bd. 12, 1921, 1922, S. 168, 169.

beiden Jahren die Ablation nahezu gleich groß. Es ergab sich für beide Jahre im gesamten ein Massenverlust, er war aber 1952/53 fast doppelt so groß wie im Jahr darauf.

Da 1953/54 trotz großer Firnrücklagen sich in der gesamten Massenbilanz ein Defizit ergab, das auf eine Überlänge der Zunge hinwies, war es notwendig, die Haushaltsberechnung für Firngebiet und Zunge getrennt durchzuführen. Eine neue Methode dafür errechnet den Haushalt, für jeden Punkt getrennt, daraus, ob die Summe der Höhenänderung durch die vertikale Bewegung und der Akkumulation und der Ablation die Gletscheroberfläche hebt oder senkt. Die sich daraus ergebenden, gegenseitig kontrollierten Berechnungen konnten die Richtigkeit und Notwendigkeit der Methode beweisen. Während das erste Jahr durchwegs negative Bilanz aufwies, war im Jahre 1953/54 ein beachtlicher Auftrag zu verzeichnen. Auf der zu langen und bewegungslahmen Zunge gab es trotzdem ein großes Defizit. Aus der Abflußmenge des Firngebietes und der Ablationskurve konnte jene Zunge konstruiert werden, die dem Eisnachschiebung entsprach. Diese Zunge hat nur mehr ein Fünftel des Volumens der tatsächlichen Zunge.

#### Literatur

1. H. W. son Ahlmann: Scientific results of the Swedish-Norwegian Arctic Expedition in the summer of 1931. Abdruck aus Geografiska Annaler 1933, Stockholm 1934.
2. H. W. son Ahlmann: Researches on snow and ice 1918—1940. Georg. Journal 107, 1946, S. 11—28.
3. H. W. son Ahlmann; H. U. Sverdrup; Hilding Olsson: Scientific results of the Norwegian-Swedish Spitzbergen-Expedition 1934. Abdruck aus Geografiska Annaler 1935, 1936, Stockholm 1936.
4. H. W. son Ahlmann; Sigurdur Thorarinsson: The Vatna Jökull Glacier. The Geographical Review, Bd. 28, No. 3, Juli 1938, S. 412—438.
5. H. W. son Ahlmann; Sigurdur Thorarinsson: Vatna Jökull: Scientific results of the Swedish-Islandic investigations 1936, 1937, 1938. Abdruck aus Geografiska Annaler 1937—1940, 1943, Stockholm 1943.
6. A. Blümcke: Studien am Hintereisferner. Mitteilungen des D. u. Ö. A. V., Bd. 23, 1897, S. 238.
7. A. Blümcke: Gletschermessungen im Ötztal. Mitteilungen des D. u. Ö. A. V., Bd. 25, 1899, S. 149, 150.
8. A. Blümcke; S. Finsterwalder: Zeitliche Änderungen in der Geschwindigkeit der Gletscherbewegung. Sitzungsberichte der Bayrischen Akademie der Wissenschaft, Bd. 25, 1905, S. 109—131.
9. A. Blümcke; S. Finsterwalder: Die Gletscherbewegung mit Berücksichtigung ihres senkrechten Anteils. Z. f. Glkde., Bd. 1, 1906—1907, S. 4—20.
10. A. Blümcke; H. Hess: Gletschermessungen im Ötztal. Mitt. d. D. u. Ö. A. V., Bd. 19, 1893, S. 268, 269.

- 64. H. u. A. Schlagintweit: Untersuchungen über die physikalische Geographie der Alpen. Verlag Ambrosius Barth, Leipzig, 1850.
- 65. R. P. Sharp: Deformation of a vertical Bore Hole in a Piedmont Glacier. Journal of Glaciology, Vol. 2, No. 13, 1953, S. 182—184.
- 66. R. Streiff-Becker: Zur Dynamik des Firneises. Z. f. Glkde., Bd. 26, 1938, S. 1—21.
- 67. R. Streiff-Becker: Extrusion flow in Glaciers. Journal of Glaciology, Vol. 2, No. 13, 1953, S. 181—182.
- 68. E. Ekhart: Beitrag zur Kenntnis der Niederschlagsverhältnisse der Hochalpen. Z. angew. Meteor. 56, 1939, S. 311.
- 69. J. Haeuser: Niederschlagsmessungen am Hintereis- und Vernagtferner. Z. 49, 1932, S. 314.
- 70. H. Hoinkes: Neue Niederschlagszahlen aus den zentralen Öztaler Alpen. 49—50. Jahresber. Sonnblickverein f. d. J. 1951—52, 1954, S. 19—27.
- 71. H. Hoinkes: Über Messungen der Ablation und des Wärmeumsatzes auf Alpengletschern, mit Bemerkungen über die Ursachen des Gletscherschwundes in den Alpen. Ass. Intern. d'Hydrol. Ass. Gen. de Rome, Tome IV, 1956, S. 442—448.
- 72. H. Hoinkes: Das glazial-meteorologische Forschungsprogramm in den Öztaler Alpen. Ber. d. Deutsch. Wetterdienstes 54, 1958, S. 8—13.
- 73. J. Lernhart: Die Wasserführung der Rofner- und Niedertaler Ache bei Vent im Öztale. Mitt. d. D. u. Ö. A. V. 1937, S. 114.
- 74. A. Wagner: Wege zur Erforschung der Gletscherschwankungen. Mitt. d. D. u. Ö. A. V. 1937, S. 251—253.

37. H. Hess: Beobachtungen an den Gletschern des Rofentales. Z. f. Glkde., Bd. 13, 1923, 1924, S. 139.
38. H. Hess: Der Hintereisferner 1893—1922. Z. f. Glkde., Bd. 13, 1923, 1924, S. 145—203.
39. H. Hess: Hintereisfernernachlese. Z. f. Glkde., Bd. 17, 1929, S. 47—65.
40. H. Hess: Beobachtungen am Hintereisferner 1919—1929. Z. f. Glkde., Bd. 18, 1930, S. 220—226.
41. H. Hess: Nachmessungen am Hintereis- und Vernagtferner. (Bericht über Gletschermessungen im Ötztal). Z. f. Glkde., Bd. 19, 1931, S. 132—133.
42. H. Hess: Nachmessungen am Hintereis- und Vernagtferner. (Bericht über Gletschermessungen im Ötztal). Z. f. Glkde., Bd. 21, 1933, 1934, S. 160—162.
42. H. Hess: Die Bewegung im Innern des Gletschers. Z. f. Glkde., Bd. 22, 1935, S. 1—35.
44. H. Hess: Über den Zustand des Eises im Gletscher. Z. f. Glkde., Bd. 26, 1939, S. 1—16.
45. H. Janetscheck: Tierische Successionen auf hochalpinem Neuland. Berichte des Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereines Innsbruck, B. 48, 49, 1949. Schlern-Schriften, Bd. 67, Innsbruck 1949.
46. P. Kasser: Sur le bilan des Bassins glaciaries avec application au grand Glacier d'Aletsch. Publication No. 39 de l'Association d'Hydrologie (Assemblée générale de Rome, tome IV).
47. R. v. Klebelsberg: Ergebnisse der Gletschermessungen des Ö. A. V. in den Österreichischen Alpen 1951 und 1952. Z. f. Glkde., Bd. 2, 1953, S. 331—343.
48. H. Lichte: Geodätische Messungen auf dem grönländischen Inlandeis. Z. f. Vermessungswesen 82, Heft 3, März 1957, S. 65—73.
49. G. Lindig: Feinbewegungsmessungen an einigen Ostalpen-Gletschern. Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen 1957, I/3.
50. M. F. Perutz: Direct measurements of velocity distribution in a vertical profile trough a glacier. Journal of Glaciology, Vol. 1, No. 5, 1949, 249. Journal of Glaciology, Vol. 1, No. 7, 1950, 282—283.
51. W. Pillewizer: Photogrammetrische Gletscheruntersuchungen im Sommer 1935. Z. d. Ges. f. Erdkunde Berlin, 1938, S. 367—372.
52. W. Pillewizer: Zur Frage jahreszeitlicher Schwankungen in der Geschwindigkeit der Gletscherbewegung. Z. f. Glkde., Bd. 1, 1950, S. 29—38.
53. A. Renaud: Observations on the Surface Movment and Ablation of the Gorner Glacier. Journal of Glaciology, 1952, Vol. 2, No. 11, 54—57.
54. H. Schatz: Nachmessungen am Hintereisferner und Vernagtferner. Z. f. Glkde., Bd. 21, 1933, 1934, S. 160—162.
55. H. Schatz: Nachmessungen am Hintereis- und Vernagtferner. Z. f. Glkde., Bd. 22, 1935, S. 186—192.
56. H. Schatz: Nachmessungen am Hintereis- und Vernagtferner. Z. f. Glkde., Bd. 23, 1935, S. 108—112.
57. H. Schatz: Nachmessungen am Hintereis- und Vernagtferner. Z. f. Glkde., Bd. 24, 1936, S. 161—165.
58. H. Schatz: Hintereis- und Vernagtferner. Z. f. Glkde., Bd. 25, 1937, S. 197—202.
59. H. Schatz: Hintereis- und Vernagtferner. Z. f. Glkde., Bd. 26, 1939, S. 152—156.
60. H. Schatz: Hintereisferner und Vernagtferner. Z. f. Glkde., Bd. 27, 1941, S. 136—141.
61. H. Schatz: Hintereis- und Vernagtferner. Z. f. Glkde., Bd. 28, 1942, S. 84—87.
62. H. Schatz: Hintereis- und Vernagtferner. Z. f. Glkde., Bd. 29, 1943, S. 118—120.
63. H. Schatz: Nachmessungen im Gebiet des Hintereis- und Vernagtferners in den Jahren 1939—1950. Z. f. Glkde., Bd. 2, 1953, S. 135—138.

Tabelle 3: Fließgeschwindigkeit, Profil II (cm pro Tag)

Datum	1	2	3	4	5	6
31. 1. 53						
1. 3. 53	0,5	1,9	2,3	1,5	1,4	
30. 3. 53	0,2	1,8	2,2	1,8	1,8	
28. 4. 53	0,2	1,9	2,4	1,9	2,0	
29. 7. 53	0,2	1,7	2,4	2,0	2,1	
4. 9. 53	0,3					
13. 10. 53	0,4	1,8	2,3	2,6	2,2	
28. 10. 53	0,3	2,1	2,3	2,1	2,0	2,3
4. 12. 53	0,2	1,5	2,2	1,8	2,0	1,8
9. 3. 54	0,1	1,5	2,2	1,7	1,9	1,7
12. 6. 54	0,1	1,5	2,4	1,9	1,9	2,0
3. 7. 54	0,05	1,6	3,3	3,8	4,4	2,9
3. 8. 54	0,03	1,1	1,3	1,0	1,1	2,6
9. 10. 54	0,05	1,7	2,2	2,3	2,3	4,0
23. 10. 54	0,4	1,6	2,6	2,0	2,2	2,3

Tabelle 4: Fließgeschwindigkeit, Profil III (cm pro Tag)

Datum	1	2	3	4	5	6	7
4. 2. 53		5,2	6,5	6,7	6,5	5,8	3,5
2. 3. 53		5,8	6,5	6,2	5,7	5,4	2,6
30. 3. 53		6,0	7,0	6,9	6,6	6,0	3,1
27. 4. 53		6,0	7,1	7,3	6,9	6,7	2,4
29. 7. 53		5,4	7,0	5,8	5,3	5,9	1,5
4. 9. 53	0,1						
31. 10. 53	0,2	4,3	5,1	4,7	4,3	3,7	0,9
5. 12. 53	0,3	3,0	3,1	3,2	2,9	2,5	0,3
9. 3. 54	0,9	2,6	3,1	3,1	4,1	2,5	1,0
2. 5. 54	0,9	3,2	4,3	4,6	6,5	3,1	1,4
12. 6. 54	0,4	6,1	7,1	6,8	6,7	5,5	0,9
3. 7. 54	0,1	5,8	6,9	6,4	7,9	6,9	0,7
17. 9. 54	0,3	5,3	6,9	7,1	6,1	6,2	0,8

## Anhang

## I. Tabellen

Tabelle 1: Beispiel für die Berechnung der Fließgeschwindigkeit, Profil I, Punkt 2. Standpunkt P A, Fixpunkt PB,  $e_0=201$  m,  $\varrho=-93,1^{\text{g}}$ 

Datum	$\varphi_0$	s	$\Delta$ s	Korr.	$\Delta$ t	v(cm/Tg)
31. 1. 53	-70,5043 <sup>g</sup>	-402,33 m				
1. 3. 53	-70,4949	-402,18	0,15		29	0,5
30. 3. 53	-70,4865	-402,05	0,13		29	0,4
28. 4. 53	-70,4649	-401,71	0,34		29	1,2
29. 7. 53	-70,1859	-397,35	4,36	-3,10	92	1,4
6. 9. 53	-70,1460	-396,73	0,62		39	1,6
13. 10. 53	-70,1186	-396,31	0,42		27	1,6
28. 10. 53	-70,1149	-396,25	0,06		15	0,4
4. 12. 53	-70,0962	-395,96	0,29		37	0,8
9. 3. 54	-70,0801	-395,72	0,24		95	0,3
2. 5. 54	-70,0732	-395,61	0,11		54	0,2
13. 6. 54	-70,0616	-395,43	0,18		42	0,4
3. 8. 54	-70,0315	-394,97	0,46		51	0,9
23. 10. 54	-69,7394	-3990,53	4,44	-3,15	81	1,6
Mittel 13. 10. 53 - 23. 10. 54			2,63		375	0,70

Tabelle 2: Fließgeschwindigkeit, Profil I (cm pro Tag)

Datum	1	2	3	4	5
31. 1. 53					
1. 3. 53	0,4	0,5	0,4		
30. 3. 53	0,3	0,4	0,7		
28. 4. 53	0,9	1,2	1,6		
29. 7. 53	0,8	1,4	0,6		
6. 9. 53	0,9	1,6	0,9		
13. 10. 53		1,6	1,2		
28. 10. 53	1,3	0,4	0,5		
4. 12. 53	0,7	0,8	1,1		
9. 3. 54	0,4	0,3	0,4	0,03	0,005
2. 5. 54	0,2	0,2	0,4		0,005
13. 6. 54	0,5	0,4	0,4		0,005
3. 8. 54	0,8	0,9	0,8		
23. 10. 54	1,1	1,6	1,7		

Tabelle 8: Fließgeschwindigkeit, Profil VII (cm pro Tag)

Datum	1	2	3	4	5	6
4. 3. 53						
1. 4. 53	6,9	5,5	4,6	2,9	2,1	2,1
26. 4. 53	4,4	6,3	5,2	3,4	2,6	2,7
24. 7. 53	6,6	6,8	5,8	3,7	2,8	2,4
3. 9. 53	5,3	5,7	4,9	3,1	2,4	1,9

Tabelle 9: Fließgeschwindigkeit, Profil VIII (cm pro Tag)

Datum	1	2	3	4
4. 3. 53				
1. 4. 53	1,8	2,8	0,4	3,2
26. 4. 53	1,8	3,1	4,1	3,8
24. 7. 53	2,7	3,6	5,8	4,9
3. 9. 53	2,3	2,9	4,4	3,6

Tabelle 10: Fließgeschwindigkeit Profil X (cm pro Tag)

Datum	1	2
4. 2. 53		
2. 3. 53	0,5	0,4
1. 4. 53	0,7	0,3
26. 4. 53	1,1	0,6
27. 7. 53	0,9	1,0
6. 12. 53	0,7	1,3
10. 3. 54	0,4	1,3
12. 6. 54	1,0	1,3
3. 7. 54	1,1	1,0
16. 9. 54	1,0	1,3

Tabelle 5: Fließgeschwindigkeit, Profil IV (cm pro Tag)

Datum	1	2	3	4
3. 3. 53				
1. 4. 53	5,4	5,7	6,4	3,6
28. 7. 53	6,4	6,5	6,9	4,3
31. 10. 53		6,3		
6. 12. 53	3,0	3,9	3,7	3,8
3. 7. 54	4,1	5,2	4,9	1,1
17. 9. 54	3,4	6,1	5,0	2,1

Tabelle 6: Fließgeschwindigkeit, Profil V (cm pro Tag)

Datum	1	2	3	4	5	6
4. 2. 53						
2. 3. 53	3,0	5,1	6,0	6,8	8,1	8,2
1. 4. 53	3,0	5,3	6,2	7,3	8,6	8,6
26. 4. 53	3,4	5,8	6,6	7,4	9,8	10,4
27. 7. 53	3,6	6,1	7,2	9,8	11,5	12,0
30. 10. 53		5,8	6,6			
6. 12. 53	2,6	5,2	6,1	6,9		7,1
10. 3. 54	2,4	5,3	5,9	6,7		6,2
12. 6. 54	2,5	6,0	6,8	7,6		1,9
3. 7. 54	3,7	8,7	9,6	11,7		11,1
16. 9. 54	2,8	6,0	6,7	7,5		7,4

Tabelle 7: Fließgeschwindigkeit, Profil VI (cm pro Tag)

Datum	1	2	3	4	5	6	7
3. 3. 53							
1. 4. 53	2,7	8,0	7,9	11,6	12,3	9,0	5,0
26. 4. 53	2,0	7,4	11,4	10,3	10,1	14,3	5,2
27. 7. 53	2,3	10,5	14,0	10,9	11,2	10,8	7,1
6. 12. 53		7,8	8,1	9,9	10,0	9,2	5,1
12. 6. 54		10,2	14,2	11,8	13,1	10,8	6,2
3. 7. 54		13,0	9,8	10,1	11,5	9,0	9,2
16. 9. 54							

Tabelle 13  
Die vertikale Bewegungskomponente

Punkt	Datum	Entf. in m	$\beta g$	h	$\Delta h$	Korr. I. H.	Korr. Pegel	Weg horiz.	Weg vert.	Neigung d. Bewegung																																																																																																																																																														
I 1	13. 10. 53	450,6	— 3,2298	— 22,88	— 4,25	— 0,20	+ 4,48	2,49	+ 0,03	+ 0,8																																																																																																																																																														
	23. 10. 54	448,3	— 3,8484	— 27,13							I 2	13. 10. 53	444,4	— 4,3160	— 30,17	— 5,63	— 0,20	+ 5,61	2,63	— 0,22	— 5,3	23. 10. 54	439,2	— 5,1780	— 35,80	I 3	13. 10. 53	452,6	— 4,4384	— 31,61	— 6,09	— 0,20	+ 6,23	3,34	— 0,06	— 1,1	23. 10. 54	450,0	— 5,3396	— 37,70	II 1	13. 10. 53	59,7	— 20,0874	— 19,49	— 3,34	+ 0,07	+ 3,53	0,42	+ 0,26	+ 35,3	23. 10. 54	59,9	— 23,1776	— 22,83	II 2	13. 10. 53	161,2	— 11,7408	— 30,07	— 3,89	+ 0,07	+ 3,63	5,28	— 0,19	— 2,4	23. 10. 54	163,4	— 13,0454	— 33,96	II 3	13. 10. 53	256,3	— 6,2882	— 25,40	— 3,57	+ 0,07	+ 3,33	7,75	— 0,17	— 1,4	23. 10. 54	258,8	— 7,0968	— 28,97	II 4	13. 10. 53	257,4	— 4,8118	— 19,49	— 3,23	+ 0,07	+ 2,99	6,60	— 0,17	— 1,7	23. 10. 54	260,6	— 5,5362	— 22,72	II 5	13. 10. 53	317,5	— 3,5880	— 17,91	— 2,98	+ 0,07	+ 2,85	7,04	— 0,06	— 0,6	23. 10. 54	319,2	— 4,1604	— 20,89	II 6	13. 10. 53	359,4	— 2,8434	— 16,06	— 3,62	+ 0,07	+ 3,57	7,69	+ 0,02	+ 0,2	23. 10. 54	360,2	— 3,4748	— 19,68	III 1	4. 9. 53	59,0	— 29,6452	— 29,65	— 1,61	+ 0,10	+ 1,52	1,96	+ 0,01	+ 0,3	17. 9. 54	60,7	— 30,2591	— 31,24	III 2	4. 9. 53	193,3	— 11,6228	— 35,69	— 1,91	+ 0,10	+ 1,32	15,45	— 0,49	— 2,0	17. 9. 54	200,3	— 11,8131	— 37,60	III 3	4. 9. 53	312,3	— 7,4128	— 36,53	— 2,00	+ 0,10	+ 1,02
I 2	13. 10. 53	444,4	— 4,3160	— 30,17	— 5,63	— 0,20	+ 5,61	2,63	— 0,22	— 5,3																																																																																																																																																														
	23. 10. 54	439,2	— 5,1780	— 35,80							I 3	13. 10. 53	452,6	— 4,4384	— 31,61	— 6,09	— 0,20	+ 6,23	3,34	— 0,06	— 1,1	23. 10. 54	450,0	— 5,3396	— 37,70	II 1	13. 10. 53	59,7	— 20,0874	— 19,49	— 3,34	+ 0,07	+ 3,53	0,42	+ 0,26	+ 35,3	23. 10. 54	59,9	— 23,1776	— 22,83	II 2	13. 10. 53	161,2	— 11,7408	— 30,07	— 3,89	+ 0,07	+ 3,63	5,28	— 0,19	— 2,4	23. 10. 54	163,4	— 13,0454	— 33,96	II 3	13. 10. 53	256,3	— 6,2882	— 25,40	— 3,57	+ 0,07	+ 3,33	7,75	— 0,17	— 1,4	23. 10. 54	258,8	— 7,0968	— 28,97	II 4	13. 10. 53	257,4	— 4,8118	— 19,49	— 3,23	+ 0,07	+ 2,99	6,60	— 0,17	— 1,7	23. 10. 54	260,6	— 5,5362	— 22,72	II 5	13. 10. 53	317,5	— 3,5880	— 17,91	— 2,98	+ 0,07	+ 2,85	7,04	— 0,06	— 0,6	23. 10. 54	319,2	— 4,1604	— 20,89	II 6	13. 10. 53	359,4	— 2,8434	— 16,06	— 3,62	+ 0,07	+ 3,57	7,69	+ 0,02	+ 0,2	23. 10. 54	360,2	— 3,4748	— 19,68	III 1	4. 9. 53	59,0	— 29,6452	— 29,65	— 1,61	+ 0,10	+ 1,52	1,96	+ 0,01	+ 0,3	17. 9. 54	60,7	— 30,2591	— 31,24	III 2	4. 9. 53	193,3	— 11,6228	— 35,69	— 1,91	+ 0,10	+ 1,32	15,45	— 0,49	— 2,0	17. 9. 54	200,3	— 11,8131	— 37,60	III 3	4. 9. 53	312,3	— 7,4128	— 36,53	— 2,00	+ 0,10	+ 1,02	18,78	— 0,88	— 3,0	17. 9. 54	321,2	— 7,6003	— 38,53								
I 3	13. 10. 53	452,6	— 4,4384	— 31,61	— 6,09	— 0,20	+ 6,23	3,34	— 0,06	— 1,1																																																																																																																																																														
	23. 10. 54	450,0	— 5,3396	— 37,70							II 1	13. 10. 53	59,7	— 20,0874	— 19,49	— 3,34	+ 0,07	+ 3,53	0,42	+ 0,26	+ 35,3	23. 10. 54	59,9	— 23,1776	— 22,83	II 2	13. 10. 53	161,2	— 11,7408	— 30,07	— 3,89	+ 0,07	+ 3,63	5,28	— 0,19	— 2,4	23. 10. 54	163,4	— 13,0454	— 33,96	II 3	13. 10. 53	256,3	— 6,2882	— 25,40	— 3,57	+ 0,07	+ 3,33	7,75	— 0,17	— 1,4	23. 10. 54	258,8	— 7,0968	— 28,97	II 4	13. 10. 53	257,4	— 4,8118	— 19,49	— 3,23	+ 0,07	+ 2,99	6,60	— 0,17	— 1,7	23. 10. 54	260,6	— 5,5362	— 22,72	II 5	13. 10. 53	317,5	— 3,5880	— 17,91	— 2,98	+ 0,07	+ 2,85	7,04	— 0,06	— 0,6	23. 10. 54	319,2	— 4,1604	— 20,89	II 6	13. 10. 53	359,4	— 2,8434	— 16,06	— 3,62	+ 0,07	+ 3,57	7,69	+ 0,02	+ 0,2	23. 10. 54	360,2	— 3,4748	— 19,68	III 1	4. 9. 53	59,0	— 29,6452	— 29,65	— 1,61	+ 0,10	+ 1,52	1,96	+ 0,01	+ 0,3	17. 9. 54	60,7	— 30,2591	— 31,24	III 2	4. 9. 53	193,3	— 11,6228	— 35,69	— 1,91	+ 0,10	+ 1,32	15,45	— 0,49	— 2,0	17. 9. 54	200,3	— 11,8131	— 37,60	III 3	4. 9. 53	312,3	— 7,4128	— 36,53	— 2,00	+ 0,10	+ 1,02	18,78	— 0,88	— 3,0	17. 9. 54	321,2	— 7,6003	— 38,53																							
II 1	13. 10. 53	59,7	— 20,0874	— 19,49	— 3,34	+ 0,07	+ 3,53	0,42	+ 0,26	+ 35,3																																																																																																																																																														
	23. 10. 54	59,9	— 23,1776	— 22,83							II 2	13. 10. 53	161,2	— 11,7408	— 30,07	— 3,89	+ 0,07	+ 3,63	5,28	— 0,19	— 2,4	23. 10. 54	163,4	— 13,0454	— 33,96	II 3	13. 10. 53	256,3	— 6,2882	— 25,40	— 3,57	+ 0,07	+ 3,33	7,75	— 0,17	— 1,4	23. 10. 54	258,8	— 7,0968	— 28,97	II 4	13. 10. 53	257,4	— 4,8118	— 19,49	— 3,23	+ 0,07	+ 2,99	6,60	— 0,17	— 1,7	23. 10. 54	260,6	— 5,5362	— 22,72	II 5	13. 10. 53	317,5	— 3,5880	— 17,91	— 2,98	+ 0,07	+ 2,85	7,04	— 0,06	— 0,6	23. 10. 54	319,2	— 4,1604	— 20,89	II 6	13. 10. 53	359,4	— 2,8434	— 16,06	— 3,62	+ 0,07	+ 3,57	7,69	+ 0,02	+ 0,2	23. 10. 54	360,2	— 3,4748	— 19,68	III 1	4. 9. 53	59,0	— 29,6452	— 29,65	— 1,61	+ 0,10	+ 1,52	1,96	+ 0,01	+ 0,3	17. 9. 54	60,7	— 30,2591	— 31,24	III 2	4. 9. 53	193,3	— 11,6228	— 35,69	— 1,91	+ 0,10	+ 1,32	15,45	— 0,49	— 2,0	17. 9. 54	200,3	— 11,8131	— 37,60	III 3	4. 9. 53	312,3	— 7,4128	— 36,53	— 2,00	+ 0,10	+ 1,02	18,78	— 0,88	— 3,0	17. 9. 54	321,2	— 7,6003	— 38,53																																						
II 2	13. 10. 53	161,2	— 11,7408	— 30,07	— 3,89	+ 0,07	+ 3,63	5,28	— 0,19	— 2,4																																																																																																																																																														
	23. 10. 54	163,4	— 13,0454	— 33,96							II 3	13. 10. 53	256,3	— 6,2882	— 25,40	— 3,57	+ 0,07	+ 3,33	7,75	— 0,17	— 1,4	23. 10. 54	258,8	— 7,0968	— 28,97	II 4	13. 10. 53	257,4	— 4,8118	— 19,49	— 3,23	+ 0,07	+ 2,99	6,60	— 0,17	— 1,7	23. 10. 54	260,6	— 5,5362	— 22,72	II 5	13. 10. 53	317,5	— 3,5880	— 17,91	— 2,98	+ 0,07	+ 2,85	7,04	— 0,06	— 0,6	23. 10. 54	319,2	— 4,1604	— 20,89	II 6	13. 10. 53	359,4	— 2,8434	— 16,06	— 3,62	+ 0,07	+ 3,57	7,69	+ 0,02	+ 0,2	23. 10. 54	360,2	— 3,4748	— 19,68	III 1	4. 9. 53	59,0	— 29,6452	— 29,65	— 1,61	+ 0,10	+ 1,52	1,96	+ 0,01	+ 0,3	17. 9. 54	60,7	— 30,2591	— 31,24	III 2	4. 9. 53	193,3	— 11,6228	— 35,69	— 1,91	+ 0,10	+ 1,32	15,45	— 0,49	— 2,0	17. 9. 54	200,3	— 11,8131	— 37,60	III 3	4. 9. 53	312,3	— 7,4128	— 36,53	— 2,00	+ 0,10	+ 1,02	18,78	— 0,88	— 3,0	17. 9. 54	321,2	— 7,6003	— 38,53																																																					
II 3	13. 10. 53	256,3	— 6,2882	— 25,40	— 3,57	+ 0,07	+ 3,33	7,75	— 0,17	— 1,4																																																																																																																																																														
	23. 10. 54	258,8	— 7,0968	— 28,97							II 4	13. 10. 53	257,4	— 4,8118	— 19,49	— 3,23	+ 0,07	+ 2,99	6,60	— 0,17	— 1,7	23. 10. 54	260,6	— 5,5362	— 22,72	II 5	13. 10. 53	317,5	— 3,5880	— 17,91	— 2,98	+ 0,07	+ 2,85	7,04	— 0,06	— 0,6	23. 10. 54	319,2	— 4,1604	— 20,89	II 6	13. 10. 53	359,4	— 2,8434	— 16,06	— 3,62	+ 0,07	+ 3,57	7,69	+ 0,02	+ 0,2	23. 10. 54	360,2	— 3,4748	— 19,68	III 1	4. 9. 53	59,0	— 29,6452	— 29,65	— 1,61	+ 0,10	+ 1,52	1,96	+ 0,01	+ 0,3	17. 9. 54	60,7	— 30,2591	— 31,24	III 2	4. 9. 53	193,3	— 11,6228	— 35,69	— 1,91	+ 0,10	+ 1,32	15,45	— 0,49	— 2,0	17. 9. 54	200,3	— 11,8131	— 37,60	III 3	4. 9. 53	312,3	— 7,4128	— 36,53	— 2,00	+ 0,10	+ 1,02	18,78	— 0,88	— 3,0	17. 9. 54	321,2	— 7,6003	— 38,53																																																																				
II 4	13. 10. 53	257,4	— 4,8118	— 19,49	— 3,23	+ 0,07	+ 2,99	6,60	— 0,17	— 1,7																																																																																																																																																														
	23. 10. 54	260,6	— 5,5362	— 22,72							II 5	13. 10. 53	317,5	— 3,5880	— 17,91	— 2,98	+ 0,07	+ 2,85	7,04	— 0,06	— 0,6	23. 10. 54	319,2	— 4,1604	— 20,89	II 6	13. 10. 53	359,4	— 2,8434	— 16,06	— 3,62	+ 0,07	+ 3,57	7,69	+ 0,02	+ 0,2	23. 10. 54	360,2	— 3,4748	— 19,68	III 1	4. 9. 53	59,0	— 29,6452	— 29,65	— 1,61	+ 0,10	+ 1,52	1,96	+ 0,01	+ 0,3	17. 9. 54	60,7	— 30,2591	— 31,24	III 2	4. 9. 53	193,3	— 11,6228	— 35,69	— 1,91	+ 0,10	+ 1,32	15,45	— 0,49	— 2,0	17. 9. 54	200,3	— 11,8131	— 37,60	III 3	4. 9. 53	312,3	— 7,4128	— 36,53	— 2,00	+ 0,10	+ 1,02	18,78	— 0,88	— 3,0	17. 9. 54	321,2	— 7,6003	— 38,53																																																																																			
II 5	13. 10. 53	317,5	— 3,5880	— 17,91	— 2,98	+ 0,07	+ 2,85	7,04	— 0,06	— 0,6																																																																																																																																																														
	23. 10. 54	319,2	— 4,1604	— 20,89							II 6	13. 10. 53	359,4	— 2,8434	— 16,06	— 3,62	+ 0,07	+ 3,57	7,69	+ 0,02	+ 0,2	23. 10. 54	360,2	— 3,4748	— 19,68	III 1	4. 9. 53	59,0	— 29,6452	— 29,65	— 1,61	+ 0,10	+ 1,52	1,96	+ 0,01	+ 0,3	17. 9. 54	60,7	— 30,2591	— 31,24	III 2	4. 9. 53	193,3	— 11,6228	— 35,69	— 1,91	+ 0,10	+ 1,32	15,45	— 0,49	— 2,0	17. 9. 54	200,3	— 11,8131	— 37,60	III 3	4. 9. 53	312,3	— 7,4128	— 36,53	— 2,00	+ 0,10	+ 1,02	18,78	— 0,88	— 3,0	17. 9. 54	321,2	— 7,6003	— 38,53																																																																																																		
II 6	13. 10. 53	359,4	— 2,8434	— 16,06	— 3,62	+ 0,07	+ 3,57	7,69	+ 0,02	+ 0,2																																																																																																																																																														
	23. 10. 54	360,2	— 3,4748	— 19,68							III 1	4. 9. 53	59,0	— 29,6452	— 29,65	— 1,61	+ 0,10	+ 1,52	1,96	+ 0,01	+ 0,3	17. 9. 54	60,7	— 30,2591	— 31,24	III 2	4. 9. 53	193,3	— 11,6228	— 35,69	— 1,91	+ 0,10	+ 1,32	15,45	— 0,49	— 2,0	17. 9. 54	200,3	— 11,8131	— 37,60	III 3	4. 9. 53	312,3	— 7,4128	— 36,53	— 2,00	+ 0,10	+ 1,02	18,78	— 0,88	— 3,0	17. 9. 54	321,2	— 7,6003	— 38,53																																																																																																																	
III 1	4. 9. 53	59,0	— 29,6452	— 29,65	— 1,61	+ 0,10	+ 1,52	1,96	+ 0,01	+ 0,3																																																																																																																																																														
	17. 9. 54	60,7	— 30,2591	— 31,24							III 2	4. 9. 53	193,3	— 11,6228	— 35,69	— 1,91	+ 0,10	+ 1,32	15,45	— 0,49	— 2,0	17. 9. 54	200,3	— 11,8131	— 37,60	III 3	4. 9. 53	312,3	— 7,4128	— 36,53	— 2,00	+ 0,10	+ 1,02	18,78	— 0,88	— 3,0	17. 9. 54	321,2	— 7,6003	— 38,53																																																																																																																																
III 2	4. 9. 53	193,3	— 11,6228	— 35,69	— 1,91	+ 0,10	+ 1,32	15,45	— 0,49	— 2,0																																																																																																																																																														
	17. 9. 54	200,3	— 11,8131	— 37,60							III 3	4. 9. 53	312,3	— 7,4128	— 36,53	— 2,00	+ 0,10	+ 1,02	18,78	— 0,88	— 3,0	17. 9. 54	321,2	— 7,6003	— 38,53																																																																																																																																															
III 3	4. 9. 53	312,3	— 7,4128	— 36,53	— 2,00	+ 0,10	+ 1,02	18,78	— 0,88	— 3,0																																																																																																																																																														
	17. 9. 54	321,2	— 7,6003	— 38,53																																																																																																																																																																				

Tabelle 11: Fließgeschwindigkeit, Profil XII (cm pro Tag)

Datum	1	2	3
4. 2. 53			
2. 3. 53	2,2	3,6	1,8
30. 3. 53	2,1	4,0	2,1
27. 4. 53	3,0	5,1	2,9
29. 7. 53	3,1	4,6	2,5
4. 9. 53	2,3	3,2	1,7
31. 10. 53	1,6	2,1	0,9
5. 12. 53	0,7	1,6	0,6
9. 3. 54	0,7	1,6	0,8
2. 5. 54	2,4	4,1	1,9
12. 6. 54	1,6	3,6	1,9
3. 7. 54	1,3	1,3	2,3
17. 9. 54	1,4	2,2	2,2

Tabelle 12: Fließgeschwindigkeit, Profil XIV (cm pro Tag)

Datum	1	2	3
3. 3. 53			
1. 4. 53	0,5	1,0	1,4
28. 7. 53	0,4	1,2	1,7
31. 10. 53	0,5	1,1	1,7
6. 12. 53	0,3	0,9	1,4
3. 7. 54	0,4		
17. 9. 54	0,4		

VI	3	6. 12. 53	314,7	- 5,8881	- 29,19	-2,71	-0,06	25,48	-2,77	- 3,9
		16. 9. 54	304,1	- 6,6542	- 31,90					
VI	4	6. 12. 53	402,6	- 4,3669	- 27,66	-2,69	-0,06	28,67	-2,75	- 3,7
		16. 9. 54	388,7	- 4,9600	- 30,35					
VI	5	6. 12. 53	540,5	- 2,5933	- 22,03	-2,89	-0,06	30,19	-2,95	- 4,0
		16. 9. 54	524,7	- 3,0212	- 24,92					
VI	6	6. 12. 53	616,4	- 0,7074	- 6,85	-3,93	-0,06	26,28	-3,99	- 7,0
		16. 9. 54	601,8	- 1,1404	- 10,78					
VII	1	4. 3. 53	245,6	-26,0070	-106,31	-4,92	-0,07	10,56	-4,99	-28,1
		3. 9. 53	248,5	-26,7928	-111,23					
VII	2	4. 3. 53	302,3	-22,9066	-113,72	-4,36	-0,07	10,95	-4,43	-24,5
		3. 9. 53	305,1	-23,5083	-118,08					
VII	3	4. 3. 53	343,7	-20,4348	-114,28	-3,52	-0,07	9,31	-3,59	-23,4
		3. 9. 53	346,1	-20,8853	-117,80					
VII	4	4. 3. 53	392,1	-17,7622	-112,33	-2,51	-0,07	5,89	-2,58	-26,3
		3. 9. 53	393,1	-18,0946	-114,84					
VII	5	4. 3. 53	445,5	-14,5874	-103,51	-2,41	-0,07	4,47	-2,48	-32,3
		3. 9. 53	445,9	-14,8472	-105,92					
VII	6	4. 3. 53	563,1	-12,2694	-109,89	-2,41	-0,07	4,02	-2,48	-35,2
		3. 9. 53	563,2	-12,5296	-112,30					
VIII	3	4. 3. 53	543,9	-10,7094	- 92,37	-1,74	-0,07	7,63	-1,81	-14,8
		3. 9. 53	548,0	-10,8273	- 94,11					
VIII	4	4. 3. 53	644,6	- 9,5150	- 97,07	-1,77	-0,07	7,30	-1,84	-15,7
		3. 9. 53	647,1	- 9,6494	- 98,84					

Punkt	Datum	Entf. in m	$\beta$ g	h	$\Delta$ h	Korr. I. H.	Korr. Pegel	Weg horiz.	Weg vert.	Neigung d. Bewegung																																																																																																																																																																													
III 4	4. 9. 53	405,9	— 6,5564	— 41,97	— 2,18	+0,10	+1,02	18,69	— 0,82	— 2,8																																																																																																																																																																													
	17. 9. 54	414,1	— 6,7619	— 44,15							III 5	4. 9. 53	516,9	— 5,6304	— 45,84	— 2,54	+0,10	+1,35	19,33	— 1,09	— 3,6	17. 9. 54	529,4	— 5,8017	— 48,38	III 6	4. 9. 53	649,9	— 4,9752	— 50,89	— 2,01	+0,10	+1,28	15,37	— 0,63	— 2,6	17. 9. 54	654,4	— 5,1351	— 52,90	III 7	4. 9. 53	817,5	— 4,2758	— 54,99	— 1,57	+0,10	+1,53	3,41	+0,06	+ 1,1	17. 9. 54	818,1	— 4,3943	— 56,56	IV 1	31. 10. 53	272,0	— 17,7568	— 77,90	— 0,97	— 0,13	+0,63	12,17	— 0,47	— 2,5	17. 9. 54	276,4	— 17,6955	— 78,87	IV 2	31. 10. 53	483,8	— 10,5242	— 75,71	— 1,38	— 0,13	+0,50	16,85	— 1,01	— 3,8	17. 9. 54	488,9	— 10,5956	— 77,09	IV 3	31. 10. 53	685,0	— 7,1166	— 76,89	— 1,17	— 0,13	+0,50	15,39	— 0,80	— 2,9	17. 9. 54	686,8	— 7,2047	— 78,06	IV 4	31. 10. 53	895,3	— 5,8552	— 82,57	— 0,68	— 0,13	+0,65	5,31	— 0,16	— 1,9	17. 9. 54	895,6	— 5,9007	— 83,25	V 1	30. 10. 53	95,6	— 10,9064	— 16,54	— 2,33	+0,03		8,47	— 2,30	— 16,9	16. 9. 54	90,9	— 13,0316	— 18,87	V 3	30. 10. 53	258,5	— 2,9040	— 11,80	— 2,63	+0,03		21,17	— 2,60	— 7,8	16. 9. 54	258,8	— 3,6150	— 14,43	V 4	30. 10. 53	342,1	— 2,5258	— 13,58	— 1,90	+0,03		23,84	— 1,87	— 5,0	16. 9. 54	336,8	— 2,9246	— 15,48	V 6	30. 10. 53	556,1	— 1,4765	— 12,90	— 1,38	+0,03		23,75	— 1,35	— 3,6	16. 9. 54	551,3	— 1,6492	— 14,28	VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06	
III 5	4. 9. 53	516,9	— 5,6304	— 45,84	— 2,54	+0,10	+1,35	19,33	— 1,09	— 3,6																																																																																																																																																																													
	17. 9. 54	529,4	— 5,8017	— 48,38							III 6	4. 9. 53	649,9	— 4,9752	— 50,89	— 2,01	+0,10	+1,28	15,37	— 0,63	— 2,6	17. 9. 54	654,4	— 5,1351	— 52,90	III 7	4. 9. 53	817,5	— 4,2758	— 54,99	— 1,57	+0,10	+1,53	3,41	+0,06	+ 1,1	17. 9. 54	818,1	— 4,3943	— 56,56	IV 1	31. 10. 53	272,0	— 17,7568	— 77,90	— 0,97	— 0,13	+0,63	12,17	— 0,47	— 2,5	17. 9. 54	276,4	— 17,6955	— 78,87	IV 2	31. 10. 53	483,8	— 10,5242	— 75,71	— 1,38	— 0,13	+0,50	16,85	— 1,01	— 3,8	17. 9. 54	488,9	— 10,5956	— 77,09	IV 3	31. 10. 53	685,0	— 7,1166	— 76,89	— 1,17	— 0,13	+0,50	15,39	— 0,80	— 2,9	17. 9. 54	686,8	— 7,2047	— 78,06	IV 4	31. 10. 53	895,3	— 5,8552	— 82,57	— 0,68	— 0,13	+0,65	5,31	— 0,16	— 1,9	17. 9. 54	895,6	— 5,9007	— 83,25	V 1	30. 10. 53	95,6	— 10,9064	— 16,54	— 2,33	+0,03		8,47	— 2,30	— 16,9	16. 9. 54	90,9	— 13,0316	— 18,87	V 3	30. 10. 53	258,5	— 2,9040	— 11,80	— 2,63	+0,03		21,17	— 2,60	— 7,8	16. 9. 54	258,8	— 3,6150	— 14,43	V 4	30. 10. 53	342,1	— 2,5258	— 13,58	— 1,90	+0,03		23,84	— 1,87	— 5,0	16. 9. 54	336,8	— 2,9246	— 15,48	V 6	30. 10. 53	556,1	— 1,4765	— 12,90	— 1,38	+0,03		23,75	— 1,35	— 3,6	16. 9. 54	551,3	— 1,6492	— 14,28	VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06		26,58	— 3,03	— 4,2	16. 9. 54	212,3	— 7,3426	— 24,60								
III 6	4. 9. 53	649,9	— 4,9752	— 50,89	— 2,01	+0,10	+1,28	15,37	— 0,63	— 2,6																																																																																																																																																																													
	17. 9. 54	654,4	— 5,1351	— 52,90							III 7	4. 9. 53	817,5	— 4,2758	— 54,99	— 1,57	+0,10	+1,53	3,41	+0,06	+ 1,1	17. 9. 54	818,1	— 4,3943	— 56,56	IV 1	31. 10. 53	272,0	— 17,7568	— 77,90	— 0,97	— 0,13	+0,63	12,17	— 0,47	— 2,5	17. 9. 54	276,4	— 17,6955	— 78,87	IV 2	31. 10. 53	483,8	— 10,5242	— 75,71	— 1,38	— 0,13	+0,50	16,85	— 1,01	— 3,8	17. 9. 54	488,9	— 10,5956	— 77,09	IV 3	31. 10. 53	685,0	— 7,1166	— 76,89	— 1,17	— 0,13	+0,50	15,39	— 0,80	— 2,9	17. 9. 54	686,8	— 7,2047	— 78,06	IV 4	31. 10. 53	895,3	— 5,8552	— 82,57	— 0,68	— 0,13	+0,65	5,31	— 0,16	— 1,9	17. 9. 54	895,6	— 5,9007	— 83,25	V 1	30. 10. 53	95,6	— 10,9064	— 16,54	— 2,33	+0,03		8,47	— 2,30	— 16,9	16. 9. 54	90,9	— 13,0316	— 18,87	V 3	30. 10. 53	258,5	— 2,9040	— 11,80	— 2,63	+0,03		21,17	— 2,60	— 7,8	16. 9. 54	258,8	— 3,6150	— 14,43	V 4	30. 10. 53	342,1	— 2,5258	— 13,58	— 1,90	+0,03		23,84	— 1,87	— 5,0	16. 9. 54	336,8	— 2,9246	— 15,48	V 6	30. 10. 53	556,1	— 1,4765	— 12,90	— 1,38	+0,03		23,75	— 1,35	— 3,6	16. 9. 54	551,3	— 1,6492	— 14,28	VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06		26,58	— 3,03	— 4,2	16. 9. 54	212,3	— 7,3426	— 24,60																							
III 7	4. 9. 53	817,5	— 4,2758	— 54,99	— 1,57	+0,10	+1,53	3,41	+0,06	+ 1,1																																																																																																																																																																													
	17. 9. 54	818,1	— 4,3943	— 56,56							IV 1	31. 10. 53	272,0	— 17,7568	— 77,90	— 0,97	— 0,13	+0,63	12,17	— 0,47	— 2,5	17. 9. 54	276,4	— 17,6955	— 78,87	IV 2	31. 10. 53	483,8	— 10,5242	— 75,71	— 1,38	— 0,13	+0,50	16,85	— 1,01	— 3,8	17. 9. 54	488,9	— 10,5956	— 77,09	IV 3	31. 10. 53	685,0	— 7,1166	— 76,89	— 1,17	— 0,13	+0,50	15,39	— 0,80	— 2,9	17. 9. 54	686,8	— 7,2047	— 78,06	IV 4	31. 10. 53	895,3	— 5,8552	— 82,57	— 0,68	— 0,13	+0,65	5,31	— 0,16	— 1,9	17. 9. 54	895,6	— 5,9007	— 83,25	V 1	30. 10. 53	95,6	— 10,9064	— 16,54	— 2,33	+0,03		8,47	— 2,30	— 16,9	16. 9. 54	90,9	— 13,0316	— 18,87	V 3	30. 10. 53	258,5	— 2,9040	— 11,80	— 2,63	+0,03		21,17	— 2,60	— 7,8	16. 9. 54	258,8	— 3,6150	— 14,43	V 4	30. 10. 53	342,1	— 2,5258	— 13,58	— 1,90	+0,03		23,84	— 1,87	— 5,0	16. 9. 54	336,8	— 2,9246	— 15,48	V 6	30. 10. 53	556,1	— 1,4765	— 12,90	— 1,38	+0,03		23,75	— 1,35	— 3,6	16. 9. 54	551,3	— 1,6492	— 14,28	VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06		26,58	— 3,03	— 4,2	16. 9. 54	212,3	— 7,3426	— 24,60																																						
IV 1	31. 10. 53	272,0	— 17,7568	— 77,90	— 0,97	— 0,13	+0,63	12,17	— 0,47	— 2,5																																																																																																																																																																													
	17. 9. 54	276,4	— 17,6955	— 78,87							IV 2	31. 10. 53	483,8	— 10,5242	— 75,71	— 1,38	— 0,13	+0,50	16,85	— 1,01	— 3,8	17. 9. 54	488,9	— 10,5956	— 77,09	IV 3	31. 10. 53	685,0	— 7,1166	— 76,89	— 1,17	— 0,13	+0,50	15,39	— 0,80	— 2,9	17. 9. 54	686,8	— 7,2047	— 78,06	IV 4	31. 10. 53	895,3	— 5,8552	— 82,57	— 0,68	— 0,13	+0,65	5,31	— 0,16	— 1,9	17. 9. 54	895,6	— 5,9007	— 83,25	V 1	30. 10. 53	95,6	— 10,9064	— 16,54	— 2,33	+0,03		8,47	— 2,30	— 16,9	16. 9. 54	90,9	— 13,0316	— 18,87	V 3	30. 10. 53	258,5	— 2,9040	— 11,80	— 2,63	+0,03		21,17	— 2,60	— 7,8	16. 9. 54	258,8	— 3,6150	— 14,43	V 4	30. 10. 53	342,1	— 2,5258	— 13,58	— 1,90	+0,03		23,84	— 1,87	— 5,0	16. 9. 54	336,8	— 2,9246	— 15,48	V 6	30. 10. 53	556,1	— 1,4765	— 12,90	— 1,38	+0,03		23,75	— 1,35	— 3,6	16. 9. 54	551,3	— 1,6492	— 14,28	VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06		26,58	— 3,03	— 4,2	16. 9. 54	212,3	— 7,3426	— 24,60																																																					
IV 2	31. 10. 53	483,8	— 10,5242	— 75,71	— 1,38	— 0,13	+0,50	16,85	— 1,01	— 3,8																																																																																																																																																																													
	17. 9. 54	488,9	— 10,5956	— 77,09							IV 3	31. 10. 53	685,0	— 7,1166	— 76,89	— 1,17	— 0,13	+0,50	15,39	— 0,80	— 2,9	17. 9. 54	686,8	— 7,2047	— 78,06	IV 4	31. 10. 53	895,3	— 5,8552	— 82,57	— 0,68	— 0,13	+0,65	5,31	— 0,16	— 1,9	17. 9. 54	895,6	— 5,9007	— 83,25	V 1	30. 10. 53	95,6	— 10,9064	— 16,54	— 2,33	+0,03		8,47	— 2,30	— 16,9	16. 9. 54	90,9	— 13,0316	— 18,87	V 3	30. 10. 53	258,5	— 2,9040	— 11,80	— 2,63	+0,03		21,17	— 2,60	— 7,8	16. 9. 54	258,8	— 3,6150	— 14,43	V 4	30. 10. 53	342,1	— 2,5258	— 13,58	— 1,90	+0,03		23,84	— 1,87	— 5,0	16. 9. 54	336,8	— 2,9246	— 15,48	V 6	30. 10. 53	556,1	— 1,4765	— 12,90	— 1,38	+0,03		23,75	— 1,35	— 3,6	16. 9. 54	551,3	— 1,6492	— 14,28	VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06		26,58	— 3,03	— 4,2	16. 9. 54	212,3	— 7,3426	— 24,60																																																																				
IV 3	31. 10. 53	685,0	— 7,1166	— 76,89	— 1,17	— 0,13	+0,50	15,39	— 0,80	— 2,9																																																																																																																																																																													
	17. 9. 54	686,8	— 7,2047	— 78,06							IV 4	31. 10. 53	895,3	— 5,8552	— 82,57	— 0,68	— 0,13	+0,65	5,31	— 0,16	— 1,9	17. 9. 54	895,6	— 5,9007	— 83,25	V 1	30. 10. 53	95,6	— 10,9064	— 16,54	— 2,33	+0,03		8,47	— 2,30	— 16,9	16. 9. 54	90,9	— 13,0316	— 18,87	V 3	30. 10. 53	258,5	— 2,9040	— 11,80	— 2,63	+0,03		21,17	— 2,60	— 7,8	16. 9. 54	258,8	— 3,6150	— 14,43	V 4	30. 10. 53	342,1	— 2,5258	— 13,58	— 1,90	+0,03		23,84	— 1,87	— 5,0	16. 9. 54	336,8	— 2,9246	— 15,48	V 6	30. 10. 53	556,1	— 1,4765	— 12,90	— 1,38	+0,03		23,75	— 1,35	— 3,6	16. 9. 54	551,3	— 1,6492	— 14,28	VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06		26,58	— 3,03	— 4,2	16. 9. 54	212,3	— 7,3426	— 24,60																																																																																			
IV 4	31. 10. 53	895,3	— 5,8552	— 82,57	— 0,68	— 0,13	+0,65	5,31	— 0,16	— 1,9																																																																																																																																																																													
	17. 9. 54	895,6	— 5,9007	— 83,25							V 1	30. 10. 53	95,6	— 10,9064	— 16,54	— 2,33	+0,03		8,47	— 2,30	— 16,9	16. 9. 54	90,9	— 13,0316	— 18,87	V 3	30. 10. 53	258,5	— 2,9040	— 11,80	— 2,63	+0,03		21,17	— 2,60	— 7,8	16. 9. 54	258,8	— 3,6150	— 14,43	V 4	30. 10. 53	342,1	— 2,5258	— 13,58	— 1,90	+0,03		23,84	— 1,87	— 5,0	16. 9. 54	336,8	— 2,9246	— 15,48	V 6	30. 10. 53	556,1	— 1,4765	— 12,90	— 1,38	+0,03		23,75	— 1,35	— 3,6	16. 9. 54	551,3	— 1,6492	— 14,28	VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06		26,58	— 3,03	— 4,2	16. 9. 54	212,3	— 7,3426	— 24,60																																																																																																		
V 1	30. 10. 53	95,6	— 10,9064	— 16,54	— 2,33	+0,03		8,47	— 2,30	— 16,9																																																																																																																																																																													
	16. 9. 54	90,9	— 13,0316	— 18,87							V 3	30. 10. 53	258,5	— 2,9040	— 11,80	— 2,63	+0,03		21,17	— 2,60	— 7,8	16. 9. 54	258,8	— 3,6150	— 14,43	V 4	30. 10. 53	342,1	— 2,5258	— 13,58	— 1,90	+0,03		23,84	— 1,87	— 5,0	16. 9. 54	336,8	— 2,9246	— 15,48	V 6	30. 10. 53	556,1	— 1,4765	— 12,90	— 1,38	+0,03		23,75	— 1,35	— 3,6	16. 9. 54	551,3	— 1,6492	— 14,28	VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06		26,58	— 3,03	— 4,2	16. 9. 54	212,3	— 7,3426	— 24,60																																																																																																																	
V 3	30. 10. 53	258,5	— 2,9040	— 11,80	— 2,63	+0,03		21,17	— 2,60	— 7,8																																																																																																																																																																													
	16. 9. 54	258,8	— 3,6150	— 14,43							V 4	30. 10. 53	342,1	— 2,5258	— 13,58	— 1,90	+0,03		23,84	— 1,87	— 5,0	16. 9. 54	336,8	— 2,9246	— 15,48	V 6	30. 10. 53	556,1	— 1,4765	— 12,90	— 1,38	+0,03		23,75	— 1,35	— 3,6	16. 9. 54	551,3	— 1,6492	— 14,28	VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06		26,58	— 3,03	— 4,2	16. 9. 54	212,3	— 7,3426	— 24,60																																																																																																																																
V 4	30. 10. 53	342,1	— 2,5258	— 13,58	— 1,90	+0,03		23,84	— 1,87	— 5,0																																																																																																																																																																													
	16. 9. 54	336,8	— 2,9246	— 15,48							V 6	30. 10. 53	556,1	— 1,4765	— 12,90	— 1,38	+0,03		23,75	— 1,35	— 3,6	16. 9. 54	551,3	— 1,6492	— 14,28	VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06		26,58	— 3,03	— 4,2	16. 9. 54	212,3	— 7,3426	— 24,60																																																																																																																																															
V 6	30. 10. 53	556,1	— 1,4765	— 12,90	— 1,38	+0,03		23,75	— 1,35	— 3,6																																																																																																																																																																													
	16. 9. 54	551,3	— 1,6492	— 14,28							VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06		26,58	— 3,03	— 4,2	16. 9. 54	212,3	— 7,3426	— 24,60																																																																																																																																																														
VI 2	6. 12. 53	219,8	— 6,2447	— 21,63	— 2,97	— 0,06		26,58	— 3,03	— 4,2																																																																																																																																																																													
	16. 9. 54	212,3	— 7,3426	— 24,60																																																																																																																																																																																			



Tabelle 14: Akkumulation und Ablation.  
 Mit ! versehene Werte sind aus Vergleichen benachbarter Pegel ergänzt

Punkt	1952—1953		1953—1954		
	Größter Auftrag	Jahresendwert	Größter Auftrag	Jahresendwert	
I	1	1,60	—5,79	1,39	—5,17
	2	1,50	—5,81	0,98	—5,32
	3	1,47	—7,40	0,69	—7,23
II	1	2,00	—3,53	0,94	—3,11
	2	1,38	—3,48	1,52	—3,03
	3	1,64	—3,74	1,01	—3,79
	4	1,32	—3,83	1,39	—3,45
	5	1,10	—3,91	0,99	—3,30
	6			0,55	—3,79
III	1			2,17	—2,10
	2	2,02	—2,11	1,96	—1,88
	3	2,19	—1,86	1,85	—1,55
	4	2,10	—1,91	2,04	—1,78
	5	1,93	—1,97		—1,91
	6	2,15	—2,03	2,25	—1,87
	7	1,80	—2,17	2,18	—2,11
XII	1	1,86	—2,01	1,61	—2,62
	2	2,20	—2,21	1,97	—2,02
	3	2,26	—1,96	1,84	—1,57
IV	1	2,25	—1,43	2,01	—1,07
	2	2,38	—1,40	2,09	—1,06
	3	2,24	—1,42	2,08	—0,93
	4	2,26	—1,16	2,06	—1,07
XIV	1	2,60	—0,62		0,00 !
	2	2,52	—0,88		0,00 !
	3	2,35	—0,74		0,00 !
V	1	2,76	—0,64	3,00	+0,13
	2	2,88	—0,66	2,85	+0,12
	3	2,96	—0,54	2,63	+0,14
	4	2,94	—0,58	2,88	+0,16
	5	2,92	—0,60	2,92	+0,12
	6	3,07	—0,69	2,80	+0,15
X	1	2,60	—0,82	2,63	—0,59
	2	2,71	—0,98	2,56	—1,05
	3	2,23	—1,83	2,07	—1,30
VI	1	2,21	—0,32	2,06	+1,00
	2	2,47	—0,12	2,95	+1,05
	3	2,56	—0,02	2,97	+1,00

	3	17,50	- 0,80	- 2,9	- 4,0	+ 1,1	+0,30	-1,42	-1,12	-0,93	-0,63
	4	6,04	- 0,18	- 1,9	- 4,2	+ 2,3	+0,22	-1,16	-0,94	-1,07	-0,85
V	1	9,63	- 2,62	-16,9	-17,1	+ 0,2	+0,03	-0,64	-0,51	+0,13	+0,16
	3	24,07	- 2,96	- 7,8	- 7,8	0,0	0,00	-0,54	-0,54	+0,14	+0,14
	4	27,12	- 2,13	- 5,0	- 4,8	- 0,2	-0,09	-0,58	-0,67	+0,16	+0,07
	6	27,01	- 1,53	- 3,6	- 3,5	- 0,1	-0,04	-0,69	-0,73	+0,15	+0,11
VI	2	34,16	- 3,89	- 7,2	- 5,7	- 1,5	-0,81	-0,12	-0,93	+1,05	+0,24
	3	32,75	- 3,56	- 6,9	- 5,4	- 1,5	-0,77	-0,02	-0,79	+1,00	+0,23
	4	36,85	- 3,54	- 6,1	- 4,9	- 1,2	-0,69	-0,13	-0,82	+0,95	+0,26
	5	38,80	- 3,79	- 6,2	- 5,1	- 1,1	-0,67	-0,18	-0,85	+0,90	+0,23
	6	33,78	- 5,13	- 9,6	- 8,3	- 1,3	-0,69	-0,01	-0,70	+0,90	+0,21
							<u>3,63</u>	<u>0,46</u>			
VII	1	22,02	-10,40	-28,1	-23,2	- 4,9	-1,70	+1,25	-0,45	+2,25	+0,55
	2	22,84	- 9,25	-24,5	-19,7	- 4,8	-1,73	+0,90	-0,83	-1,90	+0,17
	3	19,42	- 7,48	-23,4	-18,2	- 5,2	-1,59	+1,10	-0,49	+2,10	+0,51
	4	12,28	- 5,38	-26,3	-19,5	- 6,8	-1,32	+0,80	-0,52	+1,80	+0,48
	5	9,32	- 5,18	-32,3	-24,2	- 8,1	-1,19	+0,80	-0,39	+1,80	+0,61
	6	8,38	- 5,17	-35,2	-25,4	- 9,8	-1,30	+1,00	-0,30	+2,00	+0,70
VIII	3	15,91	- 3,77	-14,8	- 8,5	- 6,4	-1,60	+1,35	-0,25	+2,35	+0,75
	4	15,23	- 3,83	-15,7	- 9,0	- 6,7	-1,61	+1,30	-0,31	+2,30	+0,69
							<u>3,21</u>	<u>2,65</u>			
							12,04	8,50			

Tabelle 15  
Gletscherhaushalt 1952/53 und 1953/54

Punkt	Bewegung horizont. pro Jahr	Bewegung vertikal pro Jahr	Neigung d. Bewegung g.	Neigung d. Oberfl. g	Neigung d. Beweg. zur Oberfl. g	Höhen- änderung d. Beweg.	—Ablat. + Akkum. 1952/53	Bilanz 1952/53	—Ablat. + Akkum. 1953/54	Bilanz 1953/54	
I	1	2,42	+ 0,03	+ 0,8 <sup>g</sup>	—14,7 <sup>g</sup>	+15,5 <sup>g</sup>	+0,60	—5,79	—5,19	—5,17	—4,57
	2	2,56	— 0,22	— 5,3	—18,2	+12,9	+0,53	—5,81	—5,28	—5,32	—4,79
	3	3,25	— 0,06	— 1,1	—16,0	+14,9	+0,77	—7,40	—6,63	—7,23	—6,46
II	1	0,41	+ 0,26	+35,3	— 7,0	+42,3	+0,32	—3,53	—3,21	—3,11	—2,79
	2	5,14	— 0,19	— 2,4	— 7,7	+ 5,3	+0,43	—3,48	—3,05	—3,03	—2,60
	3	7,54	— 0,17	— 1,4	— 7,9	+ 6,5	+0,77	—3,74	—2,97	—3,79	—3,02
	4	6,42	— 0,17	— 1,7	— 8,0	+ 6,3	+0,64	—3,83	—3,19	—3,45	—2,81
	5	6,85	— 0,06	— 0,6	— 8,4	+ 7,8	+0,84	—3,91	—3,07	—3,30	—2,46
	6	7,48	+ 0,02	+0,20	— 9,0	+ 9,2	+1,09	—3,91	—3,07	—3,30	—2,46
III	1	1,89	+ 0,01	+ 0,3	—10,1	+10,4	+0,31	—2,11	—1,46	—1,88	—1,23
	2	14,92	— 0,47	— 2,0	— 4,8	+ 2,8	+0,65	—1,86	—1,41	—1,55	—1,10
	3	18,13	— 0,85	— 3,0	— 4,6	+ 1,6	+0,45	—1,91	—1,21	—1,21	—1,08
	4	18,05	— 0,79	— 2,8	— 5,3	+ 2,5	+0,70	—1,97	—1,25	—1,91	—1,19
	5	18,67	— 1,06	— 3,6	— 6,1	+ 2,5	+0,72	—2,03	—1,38	—1,87	—1,22
	6	14,84	— 0,61	— 2,6	— 5,4	+ 2,8	+0,65	—2,17	—1,79	—2,11	—1,73
	7	3,29	+ 0,06	+ 1,1	— 6,2	+ 7,3	+0,38	—1,43	—1,08	—1,07	—0,72
IV	1	13,84	— 0,54	— 2,5	— 4,1	+ 1,6	+0,35	—1,43	—1,08	—1,07	—0,72
	2	19,16	— 1,15	— 3,8	— 5,0	+ 1,2	+0,36	—1,40	—1,04	—1,06	—0,70

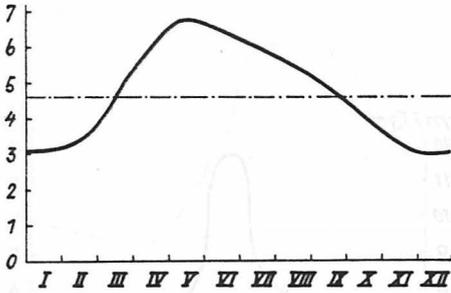


Diagramm 12 :III 4 Bewegungsschwankung vereinfacht

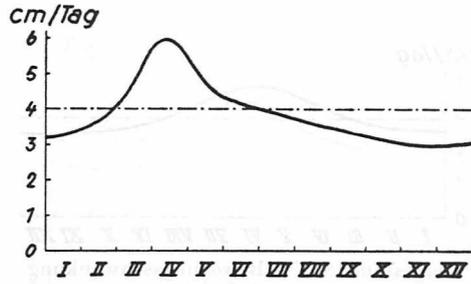


Diagramm 15 :IV 1 Bewegungsschwankung vereinfacht

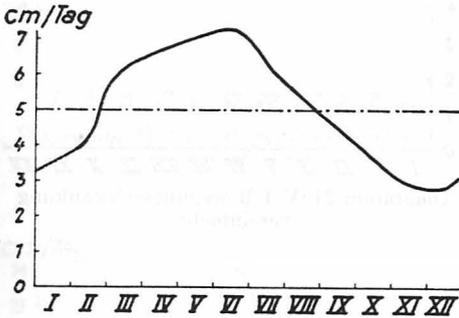


Diagramm 13 :III 5 Bewegungsschwankung vereinfacht

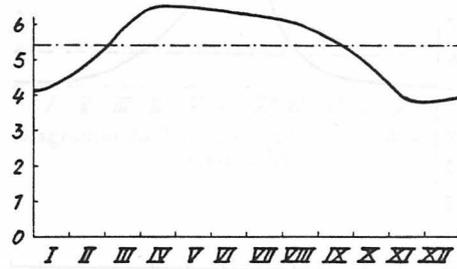


Diagramm 16 :IV 2 Bewegungsschwankung vereinfacht

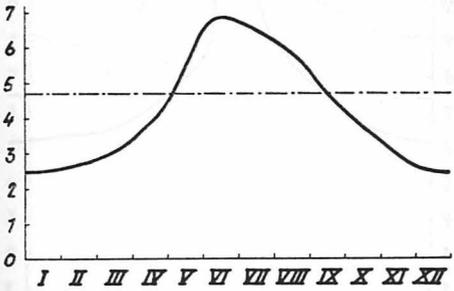


Diagramm 14 :III 6 Bewegungsschwankung vereinfacht

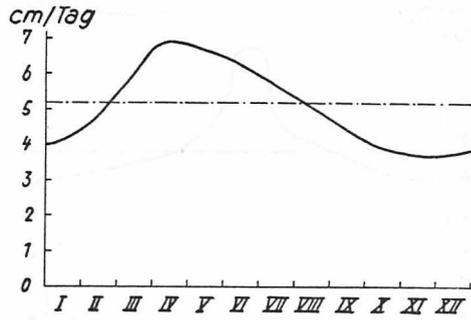


Diagramm 17 :IV 3 Bewegungsschwankung vereinfacht

II. Diagramme

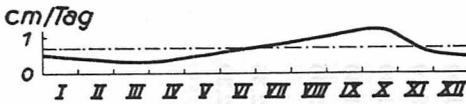


Diagramm 1 : I 1 Bewegungsschwankung vereinfacht

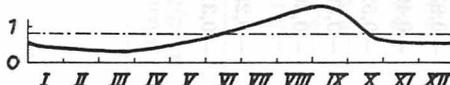


Diagramm 2 : I 2 Bewegungsschwankung vereinfacht

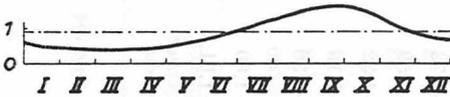


Diagramm 3 : I 3 Bewegungsschwankung vereinfacht

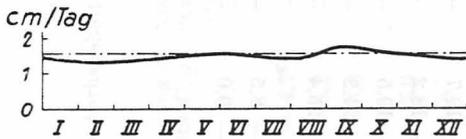


Diagramm 4 : II 2 Bewegungsschwankung vereinfacht

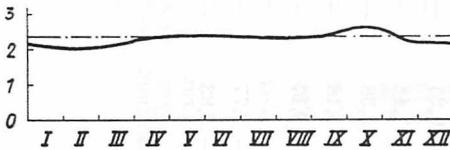


Diagramm 5 : II 3 Bewegungsschwankung vereinfacht

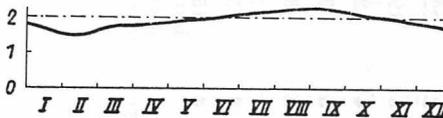


Diagramm 6 : II 4 Bewegungsschwankung vereinfacht

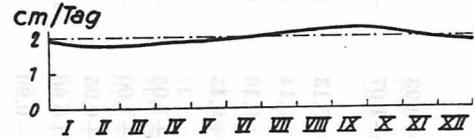


Diagramm 7 : II 5 Bewegungsschwankung vereinfacht

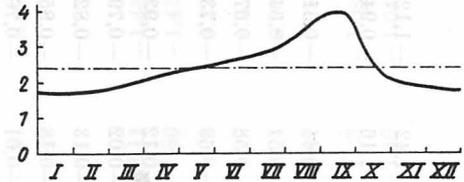


Diagramm 8 : II 6 Bewegungsschwankung vereinfacht



Diagramm 9 : III 1 Bewegungsschwankung vereinfacht

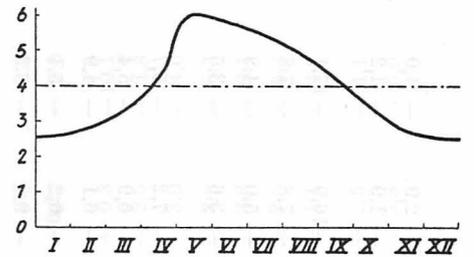
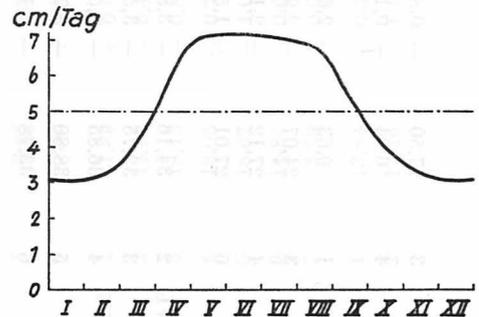


Diagramm 10 : III 2 Bewegungsschwankung vereinfacht



Diagr. 11 : III 3 Bewegungsschwankung vereinfacht

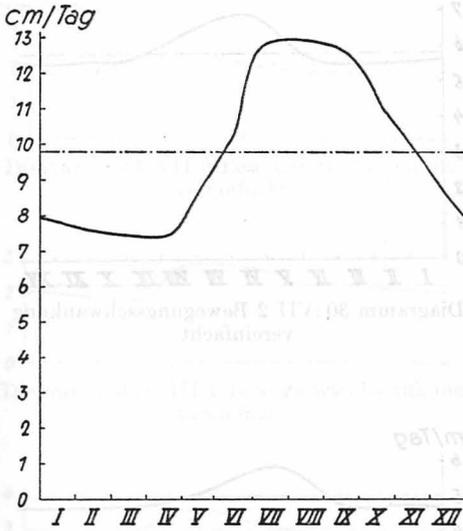


Diagramm 23:VI 2 Bewegungsschwankung vereinfacht

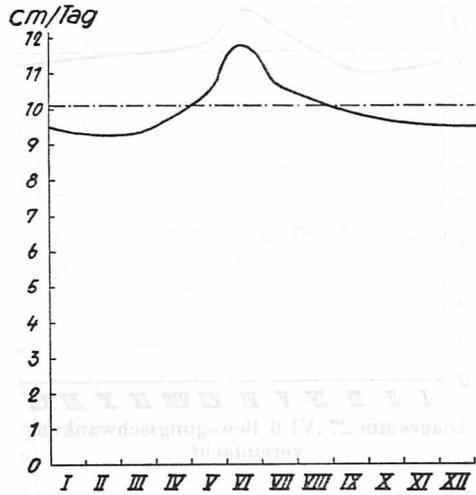


Diagramm 25:VI 4 Bewegungsschwankung vereinfacht

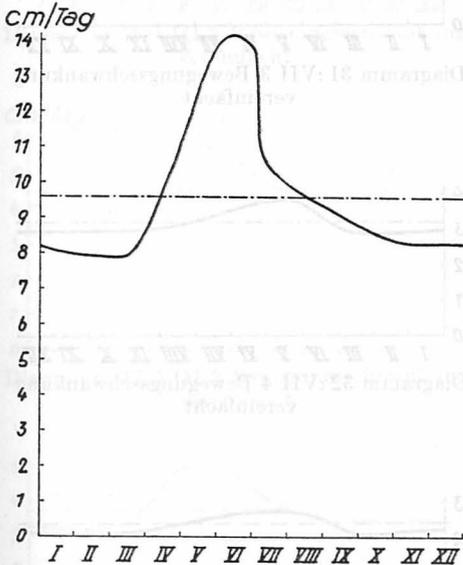


Diagramm 24:VI 3 Bewegungsschwankung vereinfacht

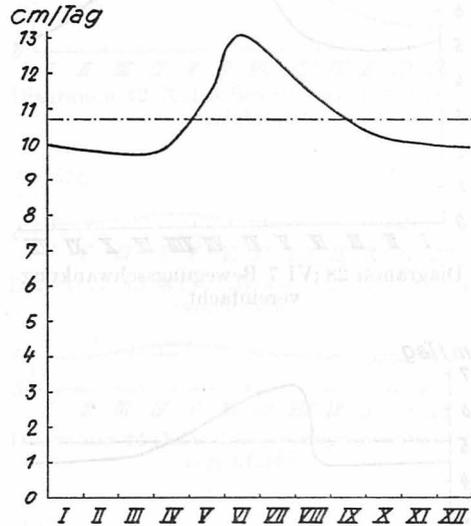


Diagramm 26:VI 5 Bewegungsschwankung vereinfacht

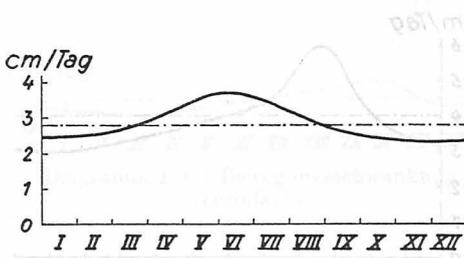


Diagramm 18: V 1 Bewegungsschwankung vereinfacht

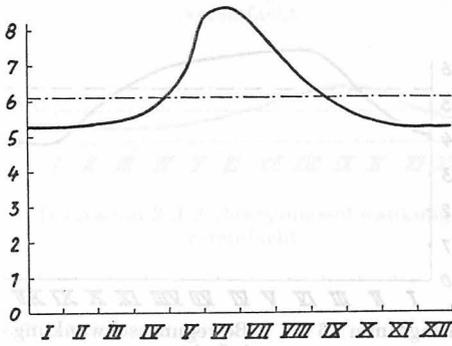


Diagramm 19: V 2 Bewegungsschwankung vereinfacht

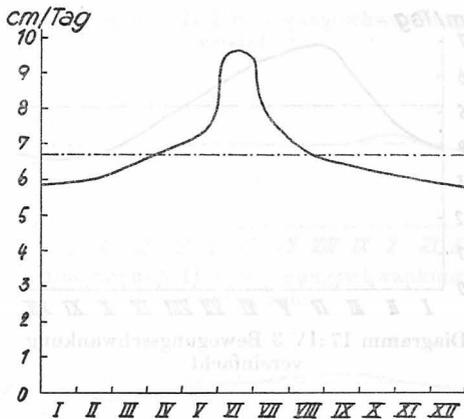


Diagramm 20: V 3 Bewegungsschwankung vereinfacht

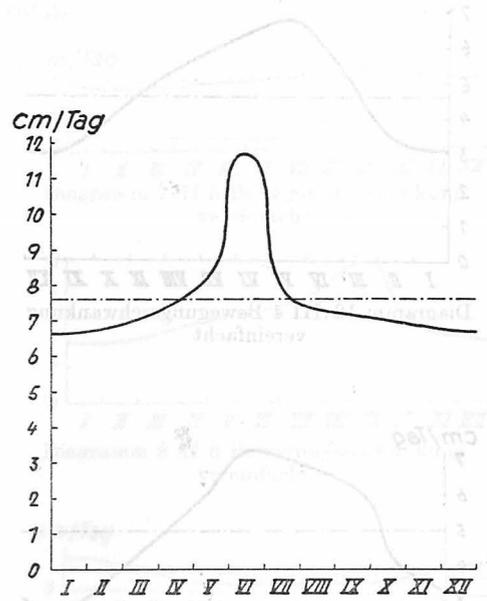


Diagramm 21: V 4 Bewegungsschwankung vereinfacht

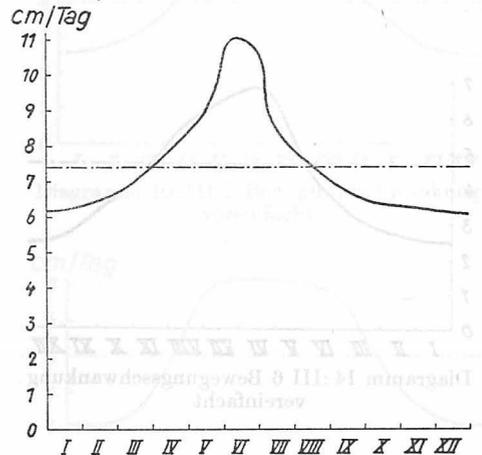


Diagramm 22: V 6 Bewegungsschwankung vereinfacht

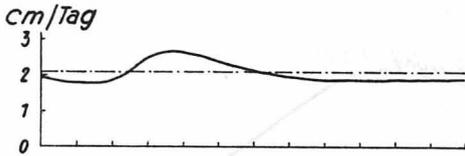


Diagramm 34 :VII 6 Bewegungsschwankung vereinfacht

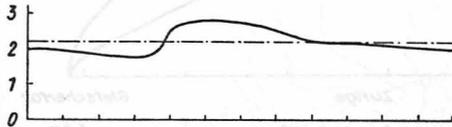


Diagramm 35 :VIII 1 Bewegungsschwankung vereinfacht

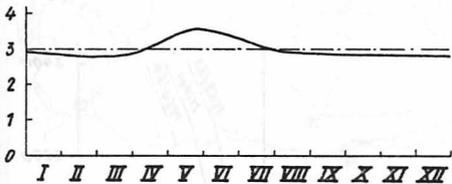


Diagramm 36 :VIII 2 Bewegungsschwankung vereinfacht

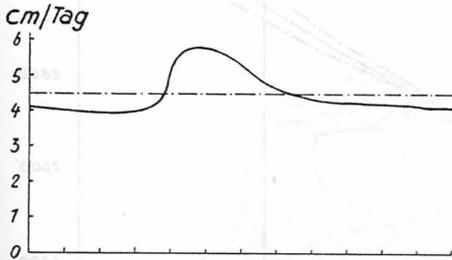


Diagramm 37 :VIII 3 Bewegungsschwankung vereinfacht

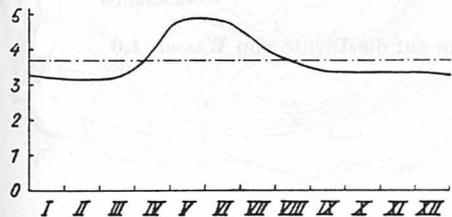


Diagramm 38 :VIII 4 Bewegungsschwankung vereinfacht



Diagramm 39 :X 1 Bewegungsschwankung vereinfacht

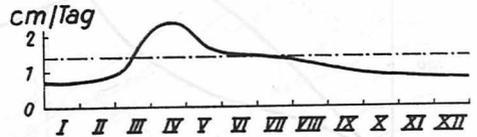


Diagramm 40 :XII 1 Bewegungsschwankung vereinfacht

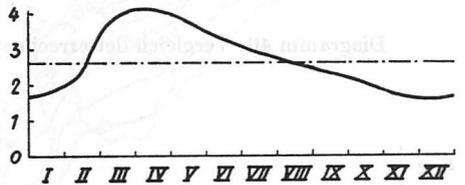


Diagramm 41 :XII 2 Bewegungsschwankung vereinfacht

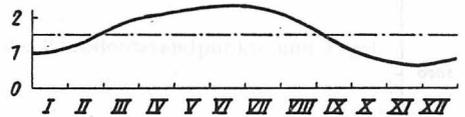


Diagramm 42 :XII 3 Bewegungsschwankung vereinfacht

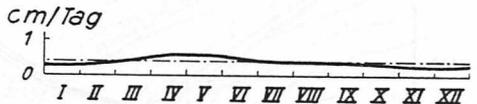


Diagramm 43 :XIV 1 Bewegungsschwankung vereinfacht

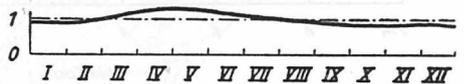


Diagramm 44 :XIV 2 Bewegungsschwankung vereinfacht

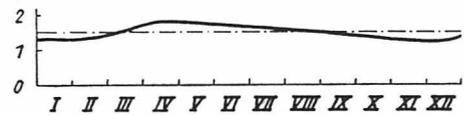


Diagramm 45 :XIV 3 Bewegungsschwankung vereinfacht

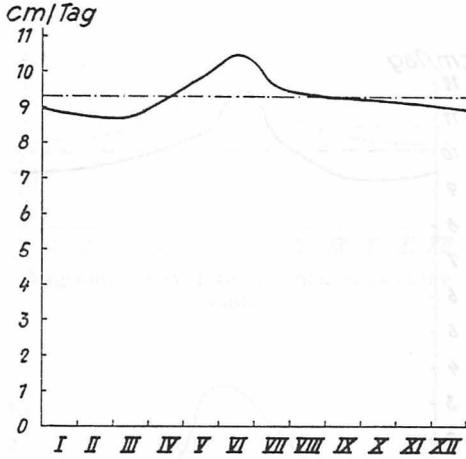


Diagramm 27 :VI 6 Bewegungsschwankung vereinfacht

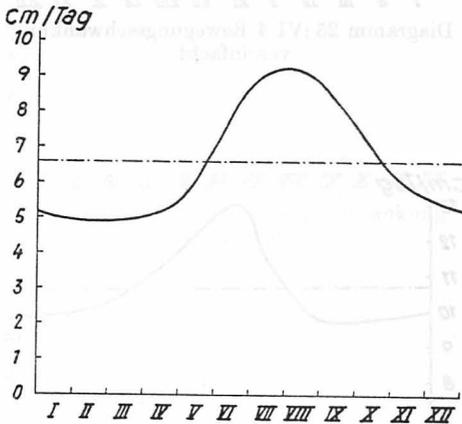


Diagramm 28 :VI 7 Bewegungsschwankung vereinfacht

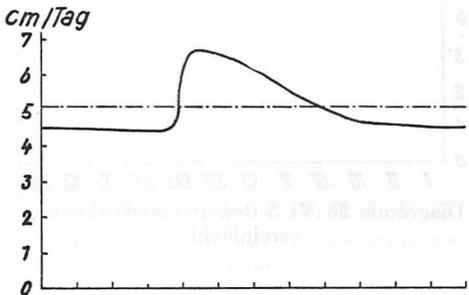


Diagramm 29 :VII 1 Bewegungsschwankung vereinfacht

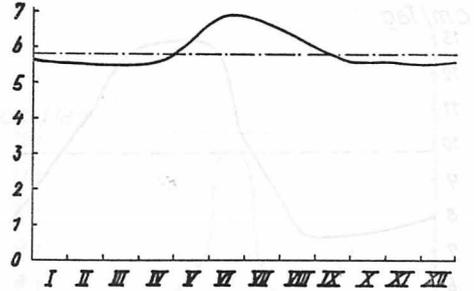


Diagramm 30 :VII 2 Bewegungsschwankung vereinfacht

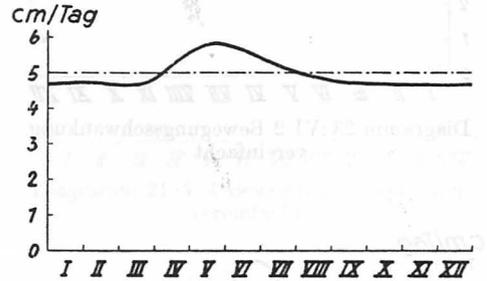


Diagramm 31 :VII 3 Bewegungsschwankung vereinfacht

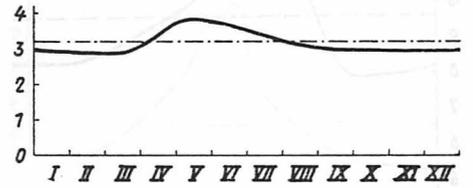


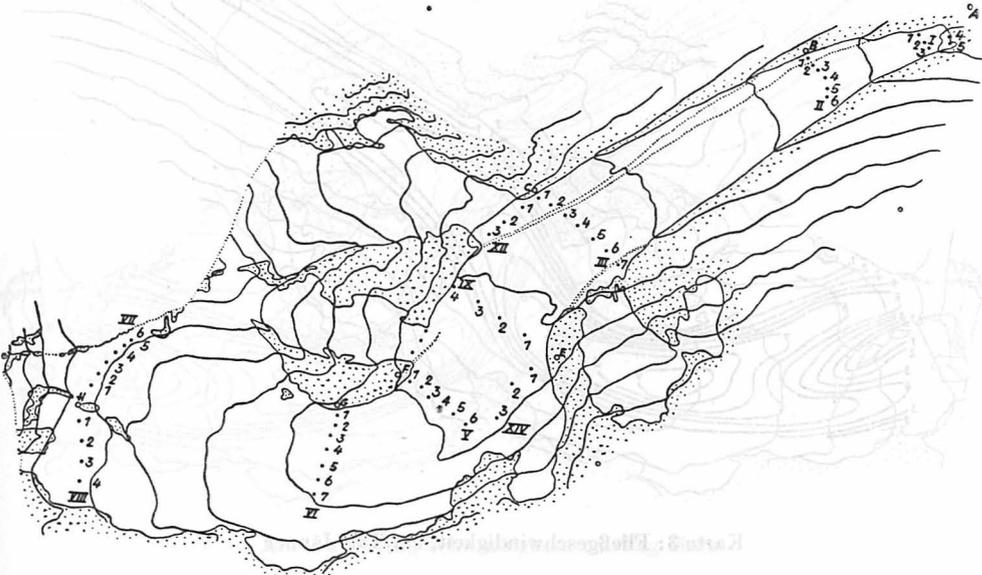
Diagramm 32 :VII 4 Bewegungsschwankung vereinfacht



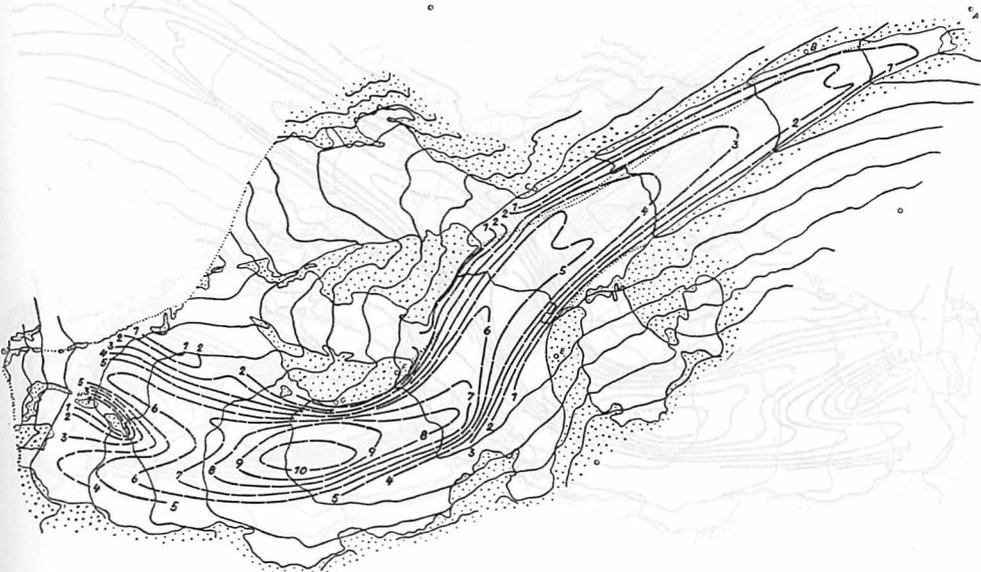
Diagramm 33 :VII 5 Bewegungsschwankung vereinfacht

### III. Karten

Der Maßstab aller Karten ist 1 : 55.000



Karte 1: Hintereisferner, Verteilung der Theodolitstandpunkte und Pegel



Karte 2: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag im Jahresdurchschnitt

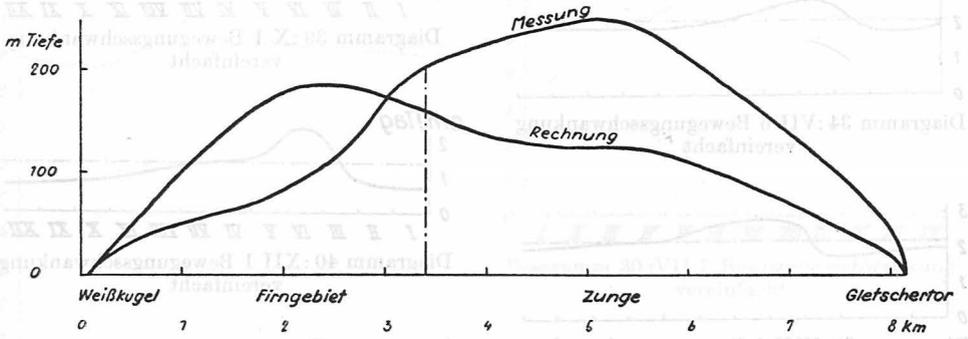


Diagramm 46: Vergleich der errechneten und der seismisch gemessenen Eisdicke

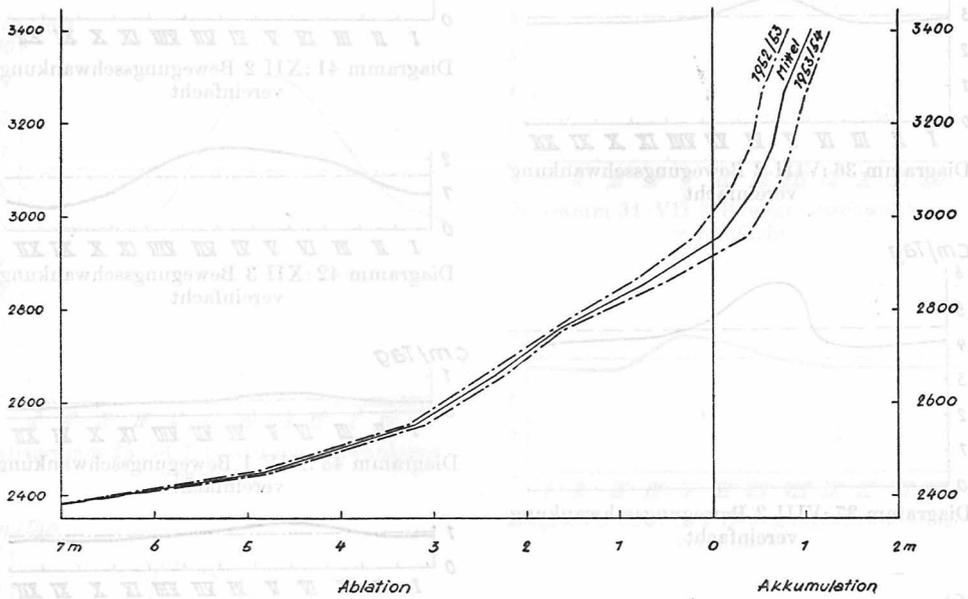


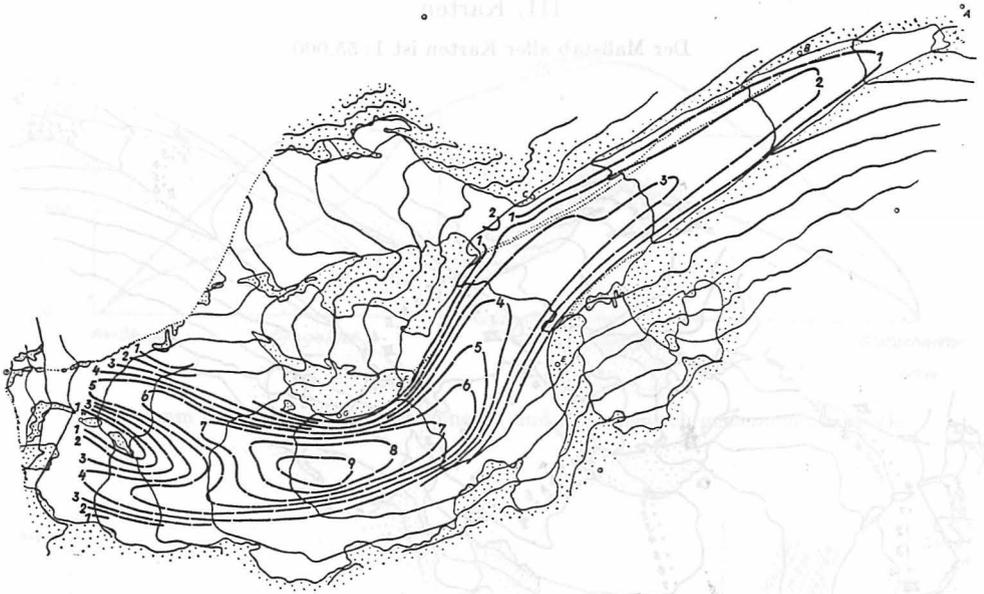
Diagramm 47: Ablationskurve, bezogen auf die Dichte von Wasser, 1,0



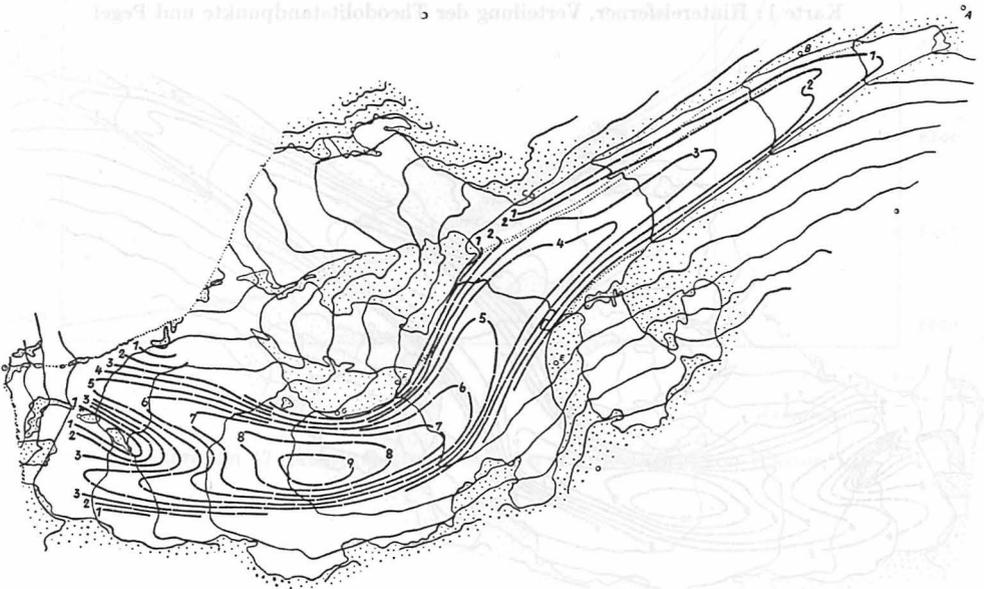
Karte 5: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag März



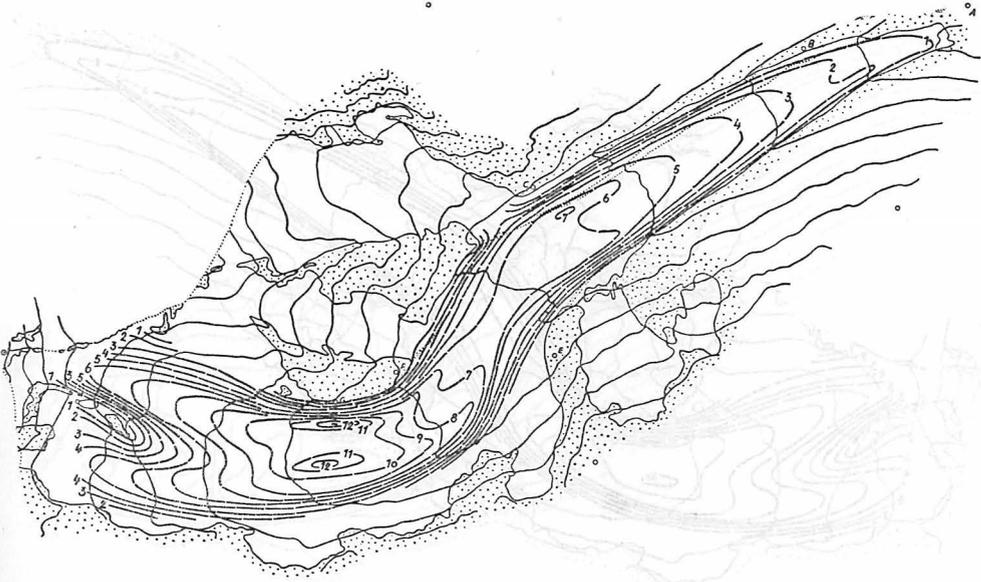
Karte 6: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag April



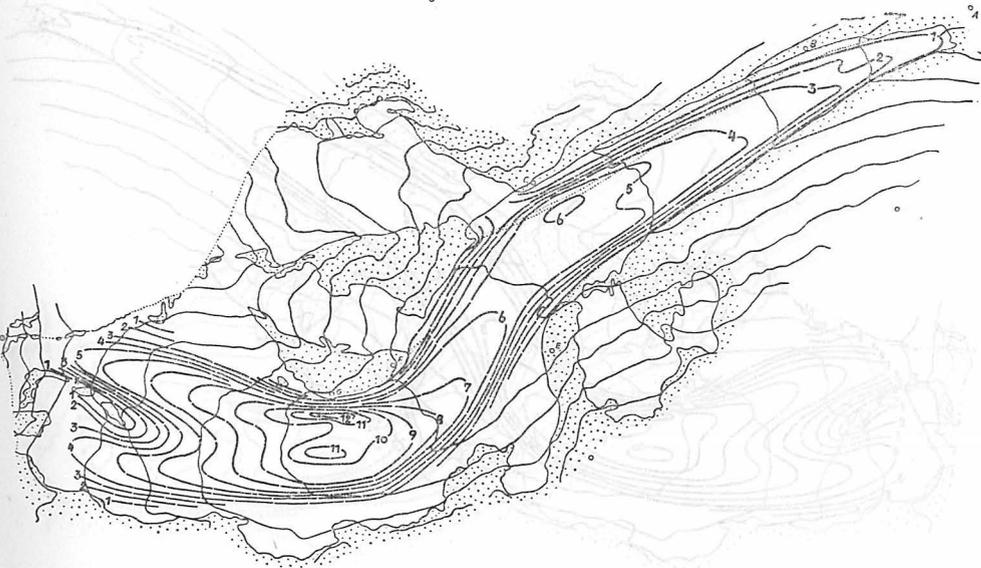
Karte 3: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag Jänner



Karte 4: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag Februar



Karte 9: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag Juli



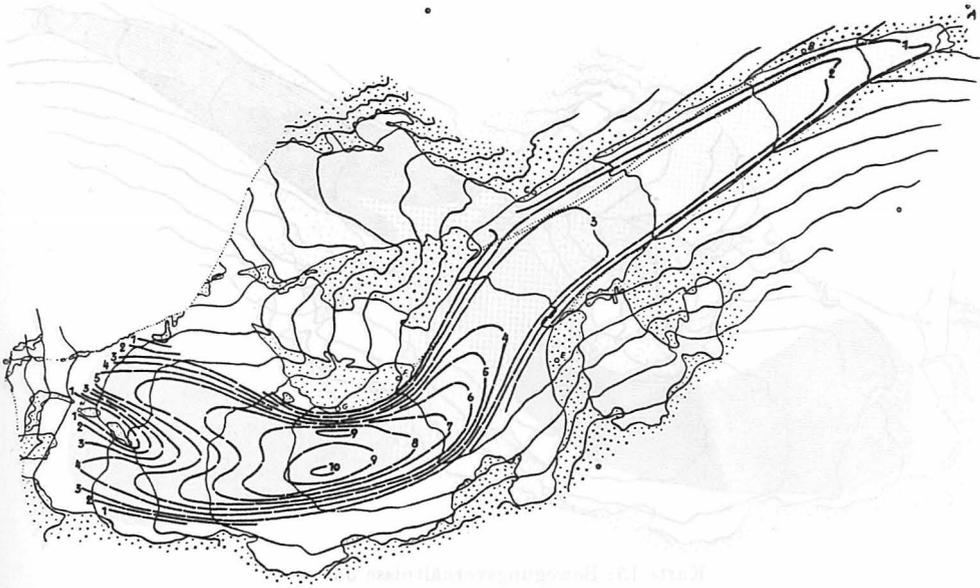
Karte 10: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag August



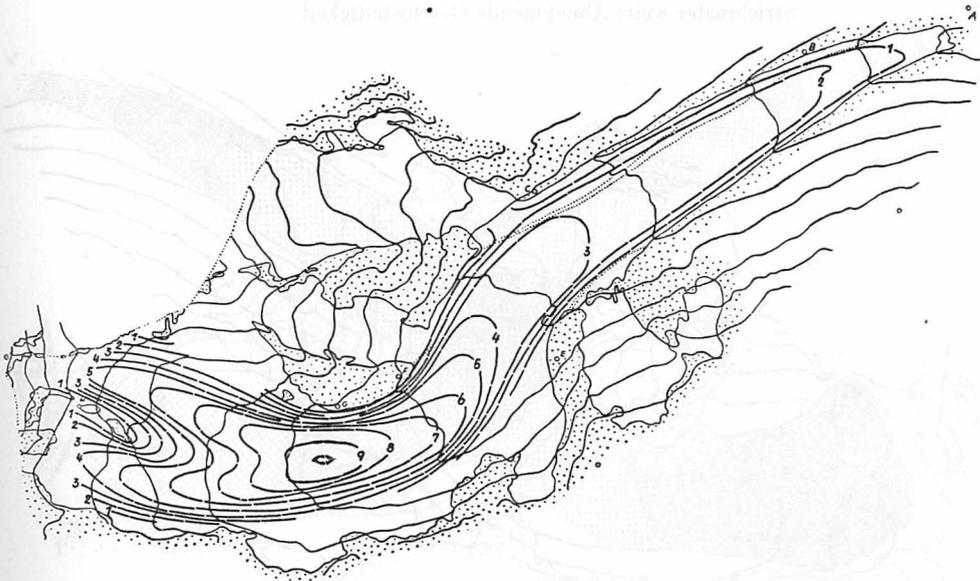
Karte 7: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag Mai



Karte 8: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag Juni



Karte 13: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag November



Karte 14: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag Dezember

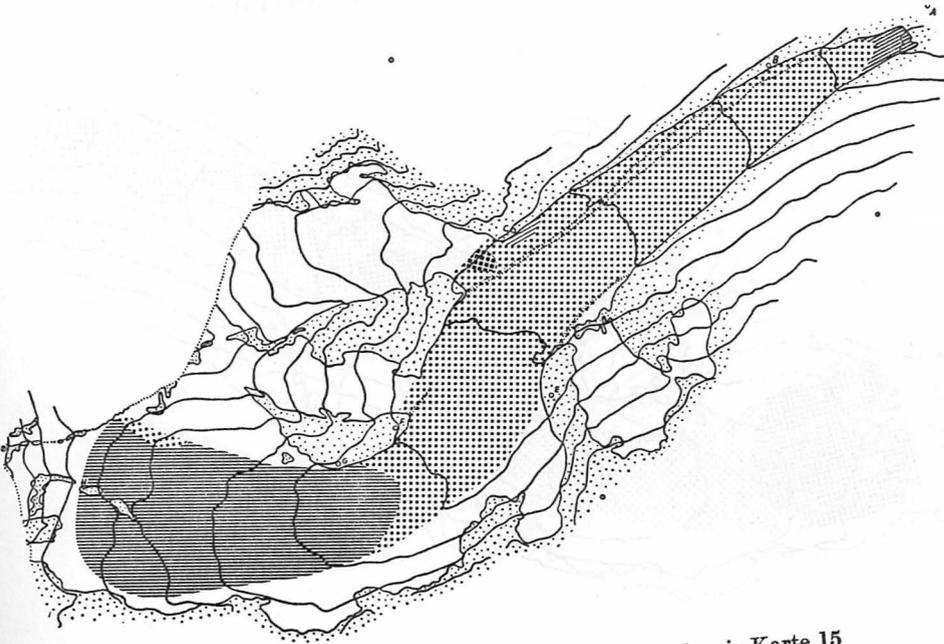


Karte 11: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag September

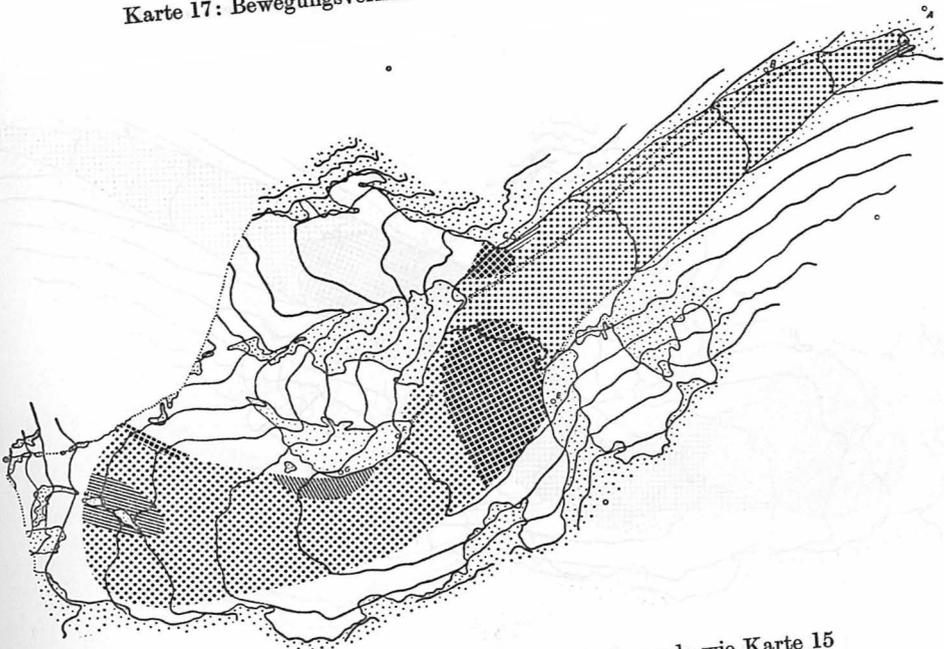


Karte 12: Fließgeschwindigkeit, cm/Tag Oktober

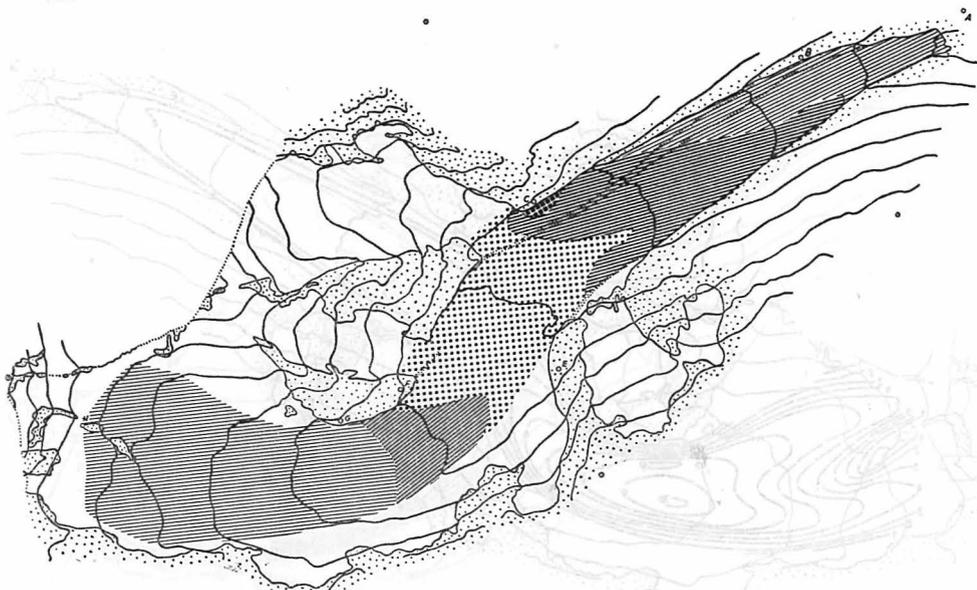
## Karten



Karte 17: Bewegungsverhältnisse März - Legende wie Karte 15



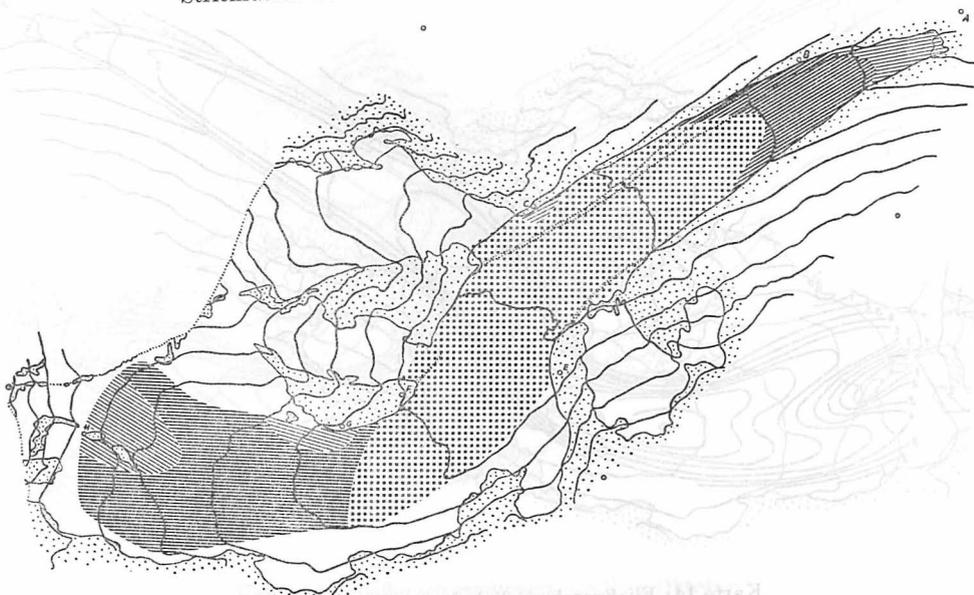
Karte 18: Bewegungsverhältnisse April - Legende wie Karte 15



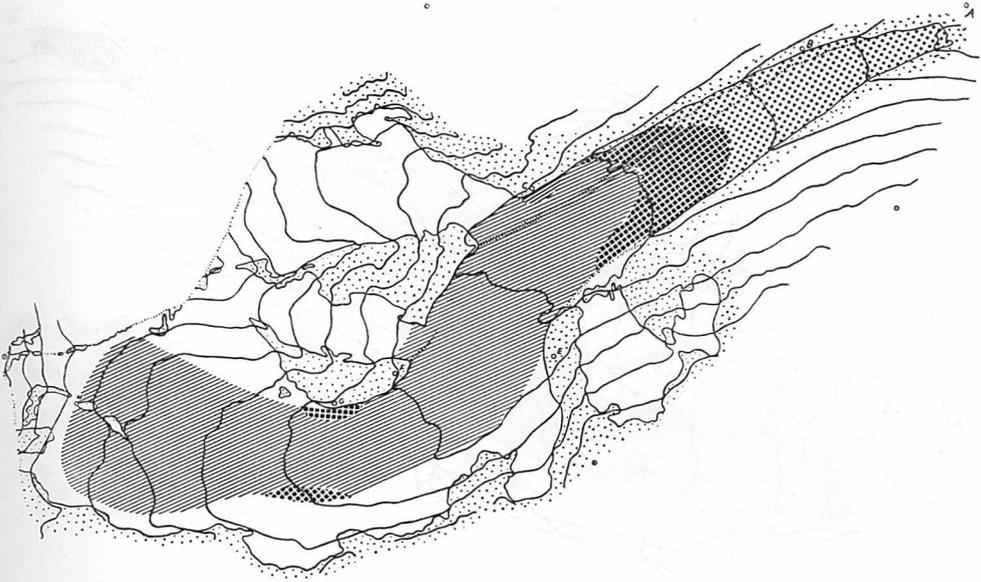
Karte 15: Bewegungsverhältnisse Jänner

Legende:

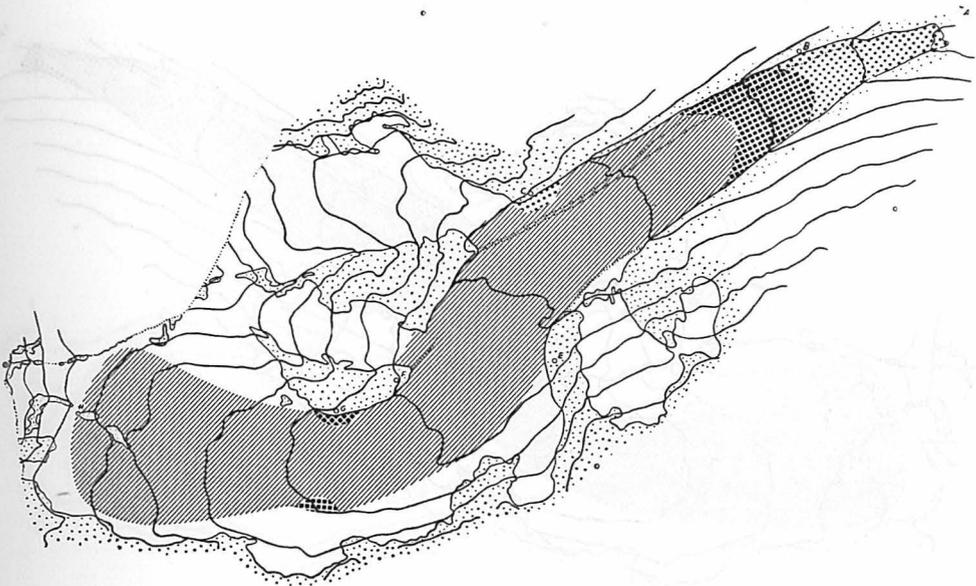
- Punktraster eng: Bewegungsmaximum  
 Punktraster weit: Zunehmende Geschwindigkeit  
 Strichraster eng: Bewegungsminimum  
 Strichraster weit: Abnehmende Geschwindigkeit



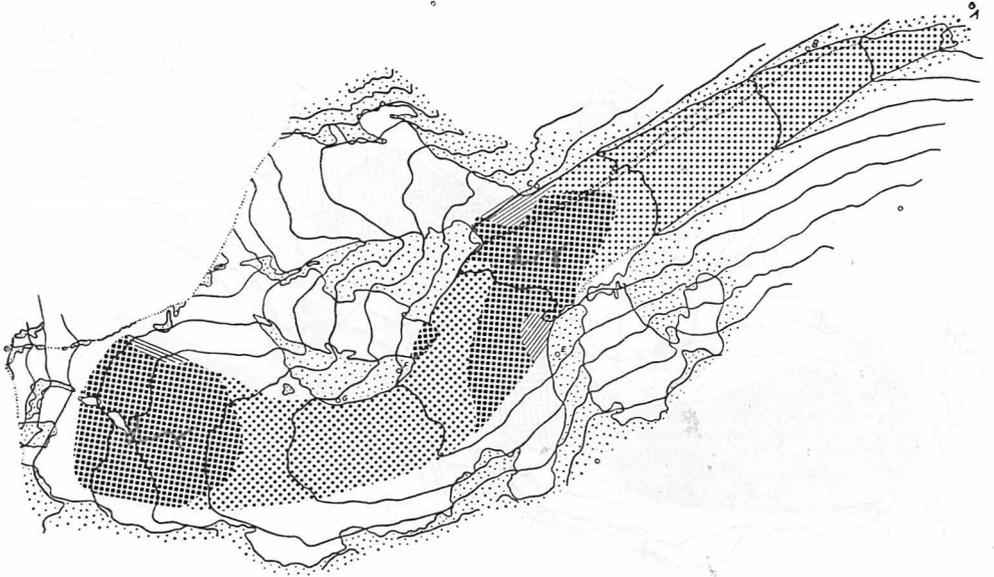
Karte 16: Bewegungsverhältnisse Februar - Legende wie Karte 15



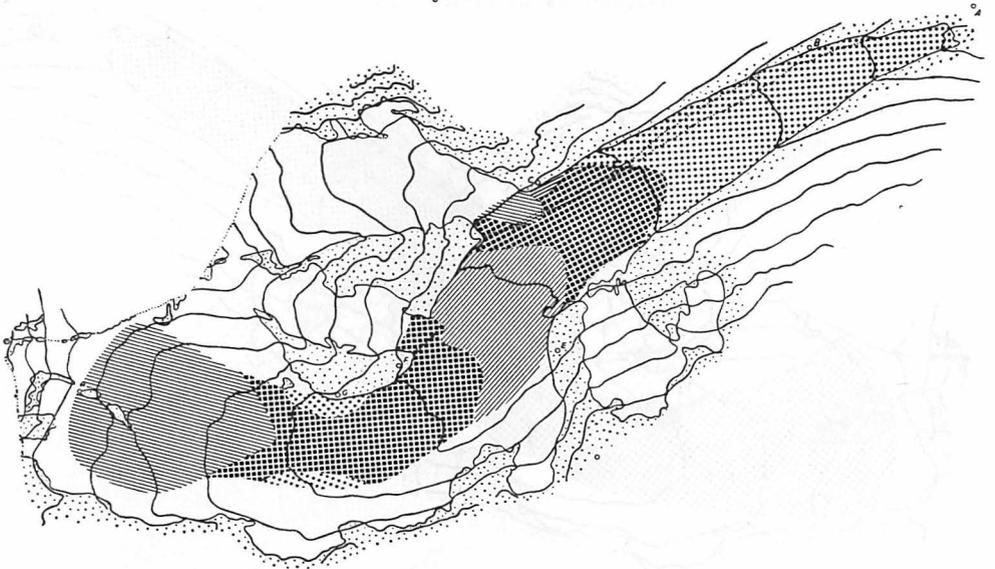
Karte 21: Bewegungsverhältnisse Juli - Legende wie Karte 15



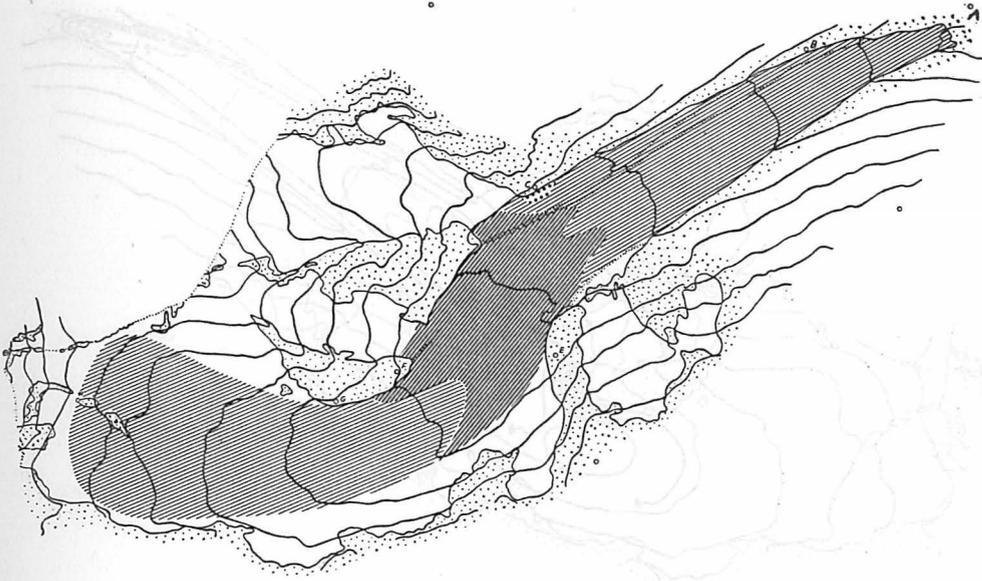
Karte 22: Bewegungsverhältnisse August - Legende wie Karte 15



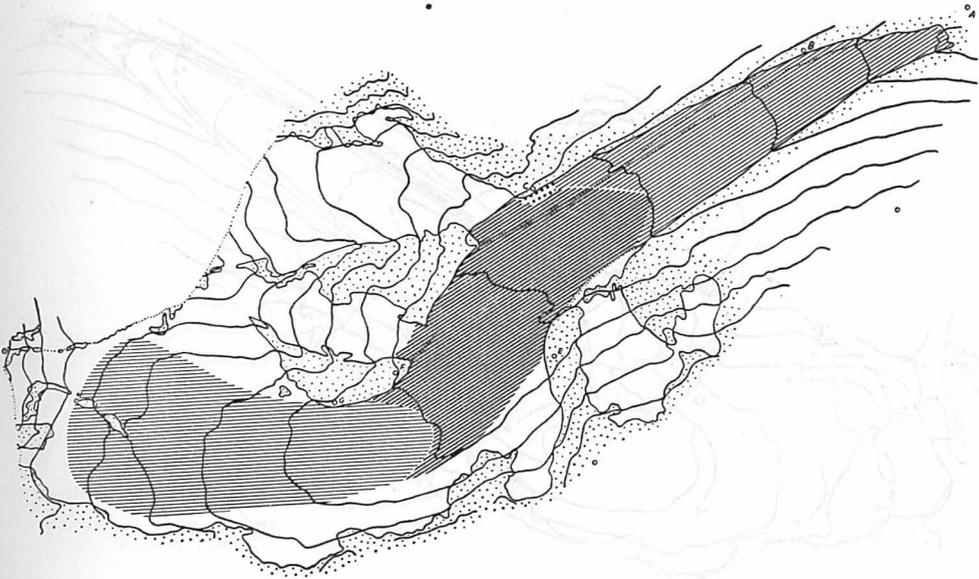
Karte 19: Bewegungsverhältnisse Mai - Legende wie Karte 15



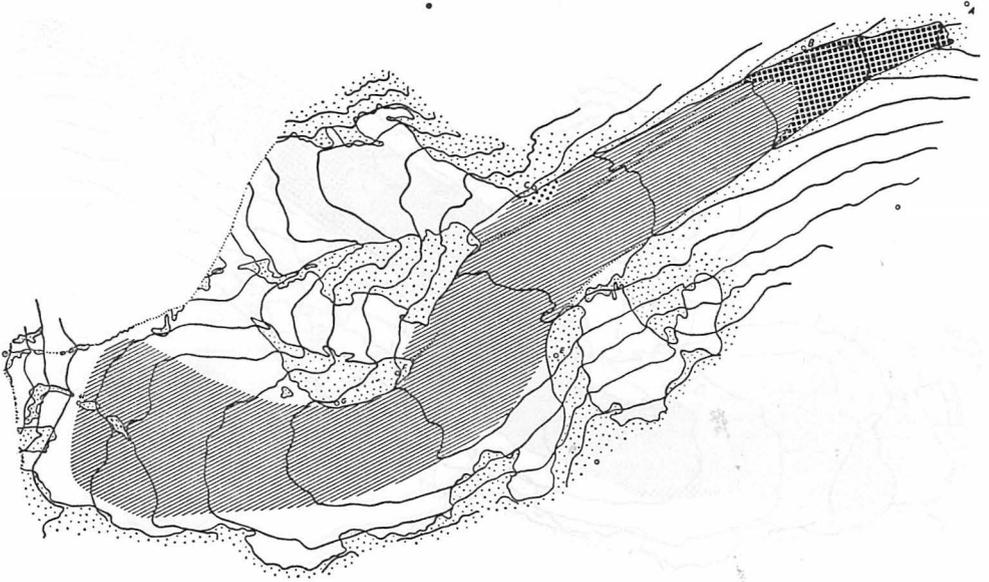
Karte 20: Bewegungsverhältnisse Juni - Legende wie Karte 15



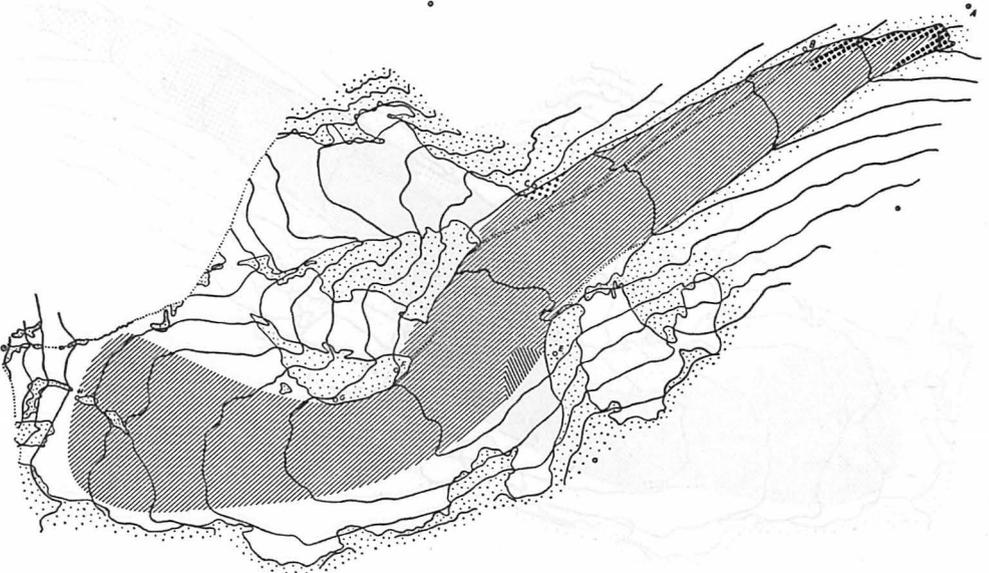
Karte 25: Bewegungsverhältnisse November - Legende wie Karte 15



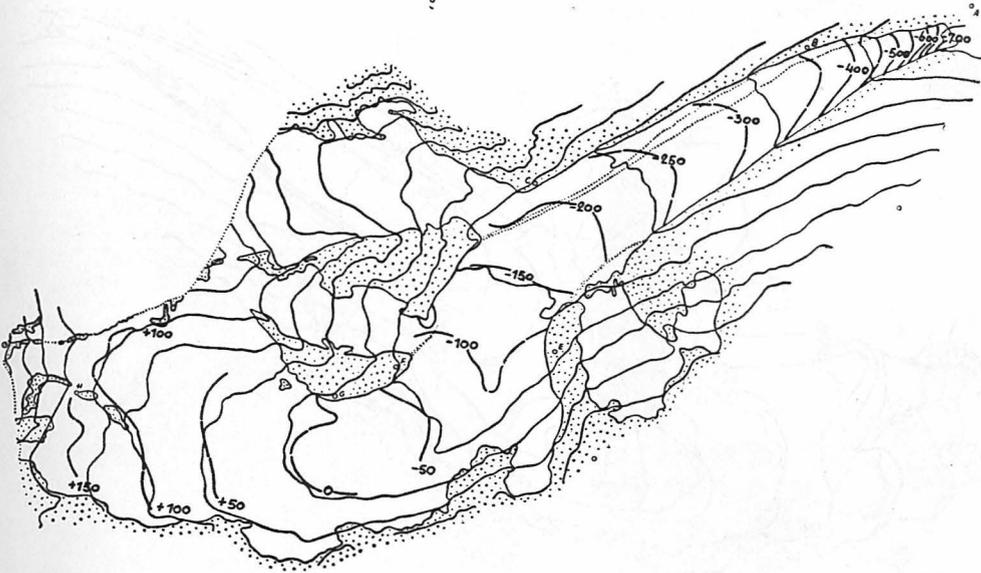
Karte 26: Bewegungsverhältnisse Dezember - Legende wie Karte 15



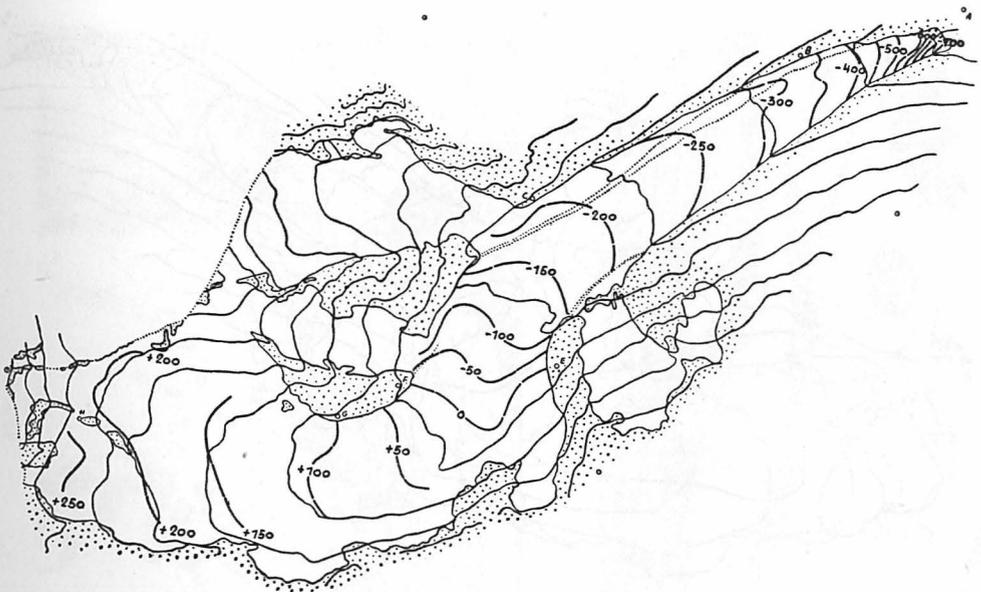
Karte 23: Bewegungsverhältnisse September - Legende wie Karte 15



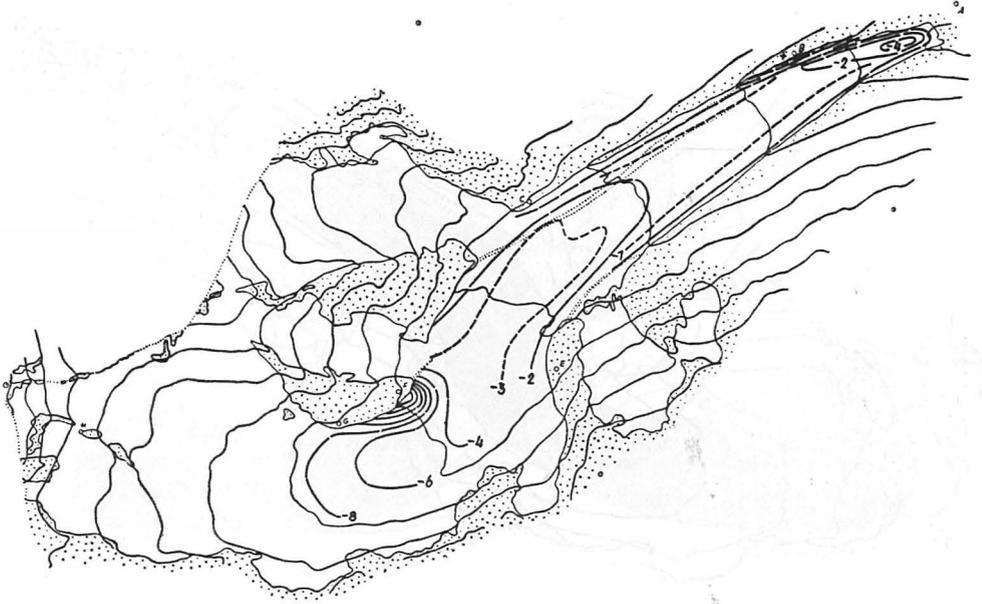
Karte 24: Bewegungsverhältnisse Oktober - Legende wie Karte 15



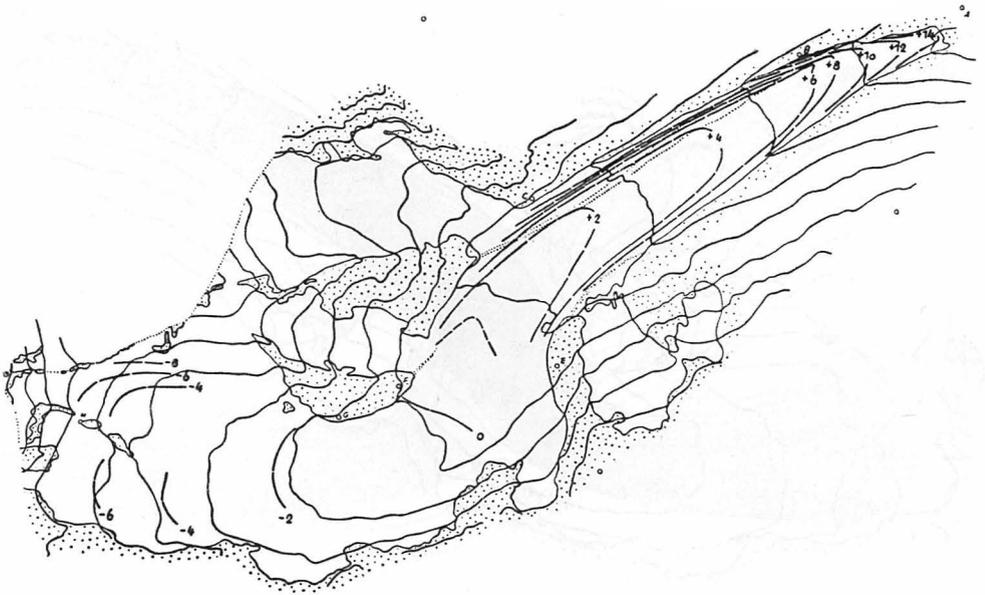
Karte 29: Auftrag und Abschmelzung am Ende des Haushaltsjahres 1952/53 in cm



Karte 30: Auftrag und Abschmelzung am Ende des Haushaltsjahres 1953/54 in cm



Karte 27: Die Neigung der Bewegungslinien zur horizontalen in Neugrad



Karte 28: Die Neigung der Bewegungslinien zur Gletscheroberfläche in Neugrad

Abb. 1

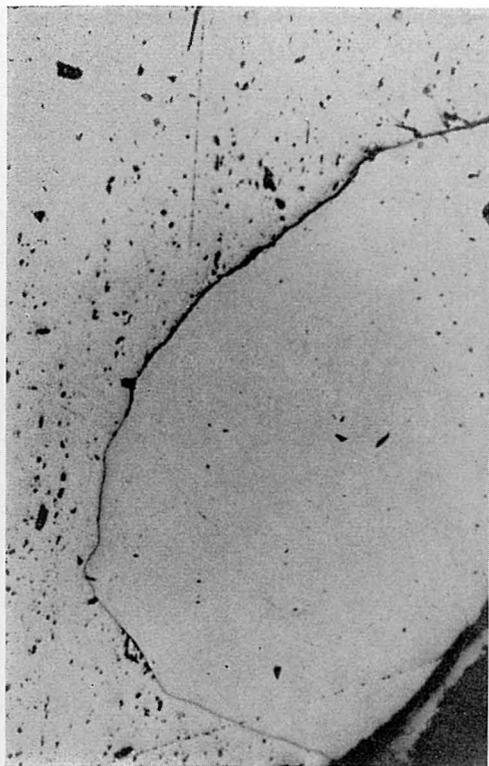


Abb. 2

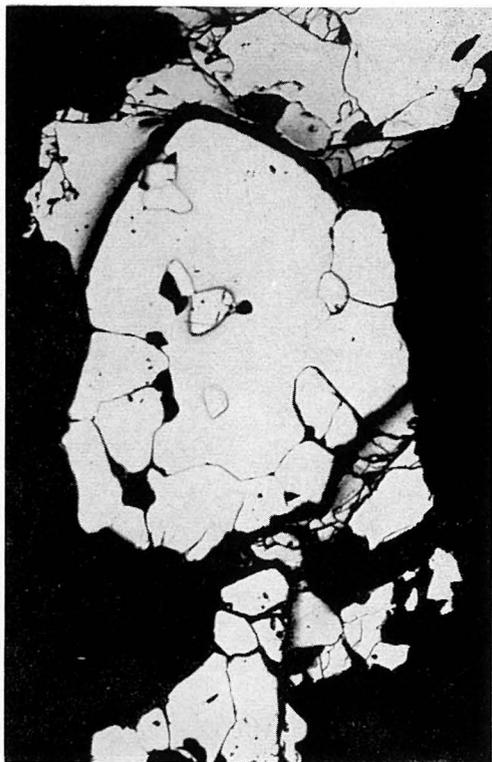
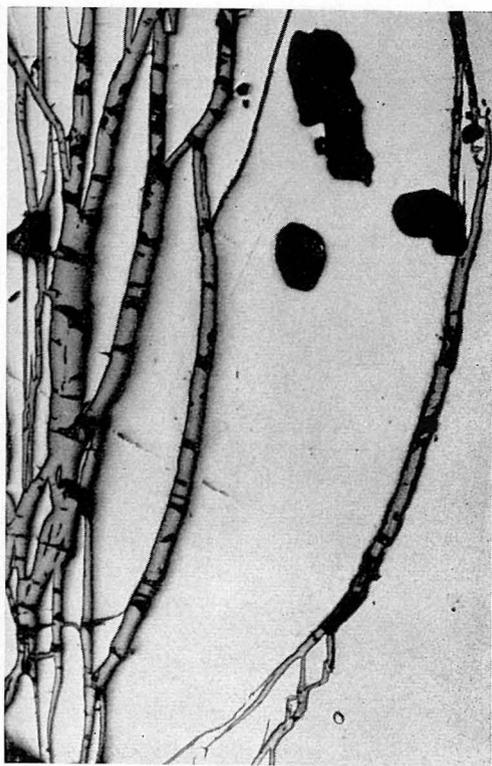
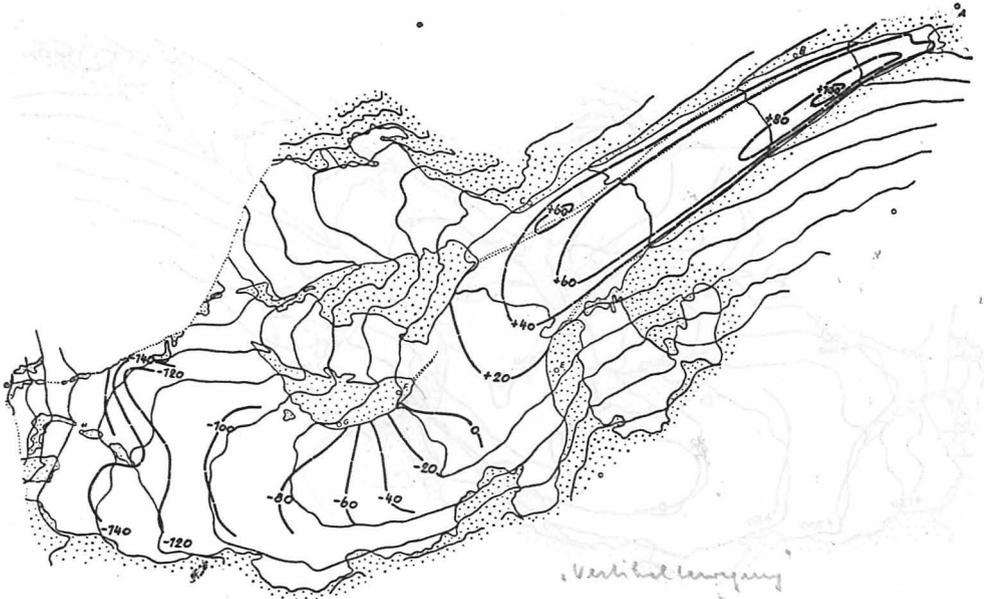


Abb. 3

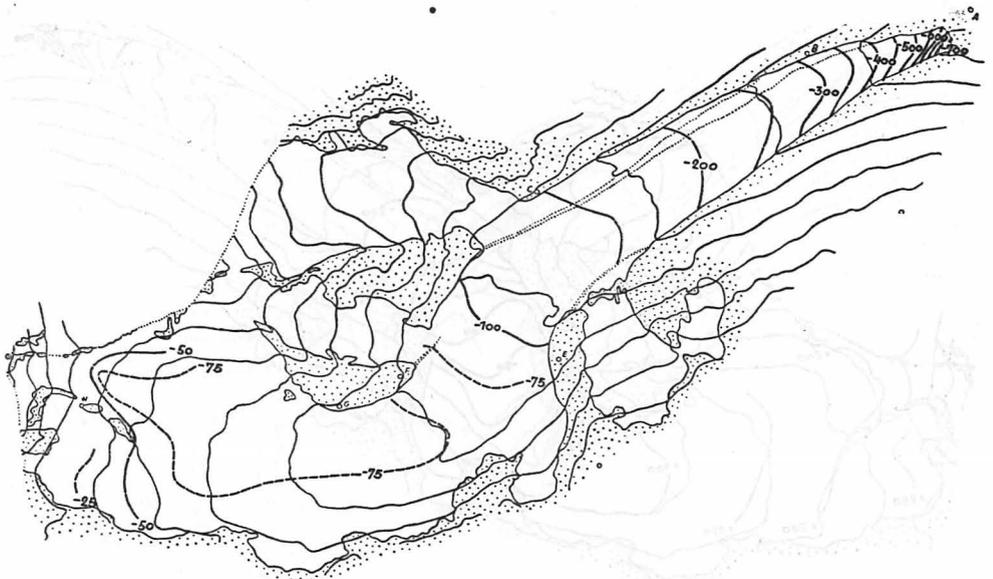


Abb. 4





Karte 31: Die Höhenänderung der Gletscheroberfläche allein durch die vertikale Komponente der Gletscherbewegung, in cm



Karte 32: Jahresbilanz 1952/53, Summe aus Auftrag bzw. Abschmelzung und ihre Höhenänderung durch die vertikale Bewegungskomponente, in cm

Abb. 9

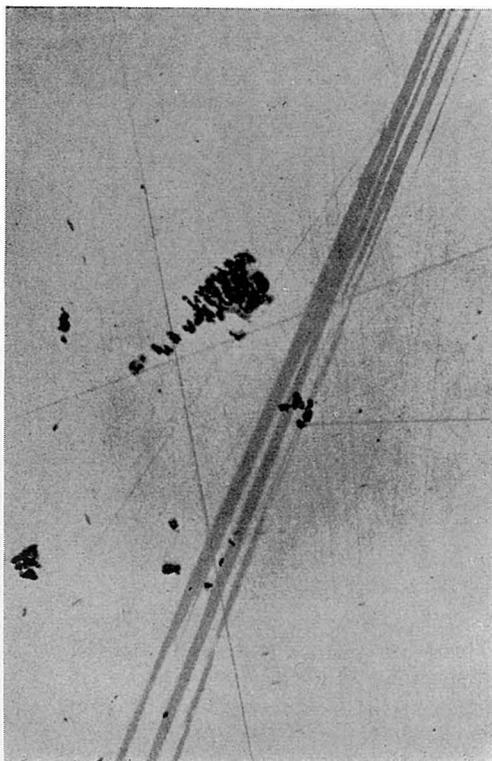


Abb. 10

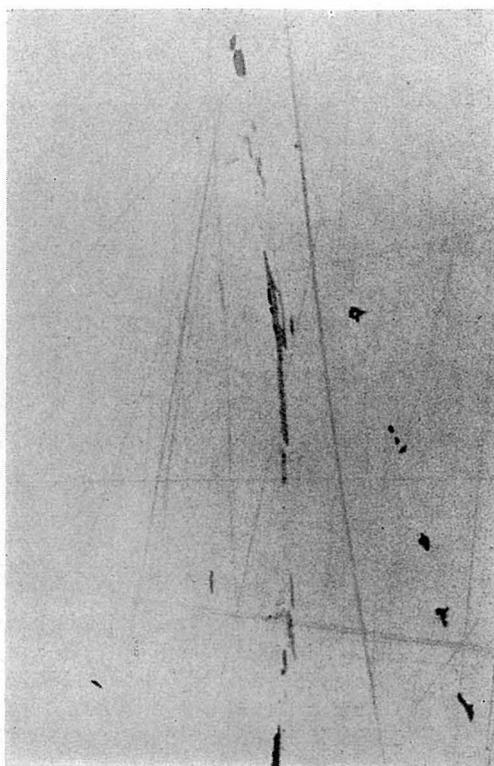


Abb. 11

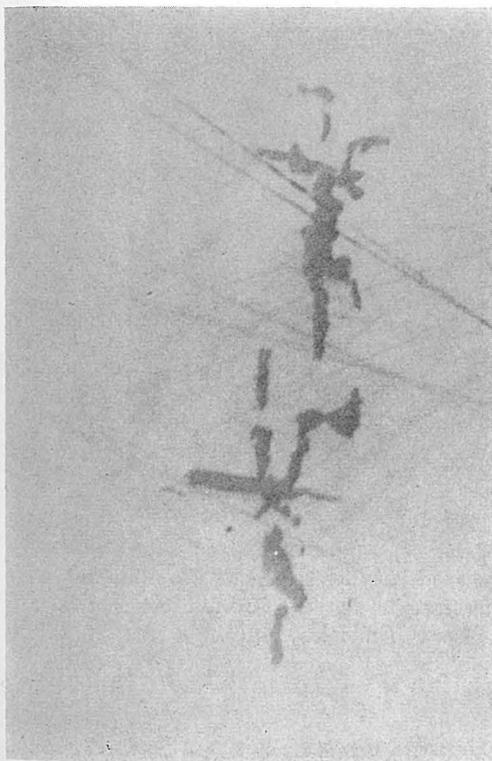


Abb. 12

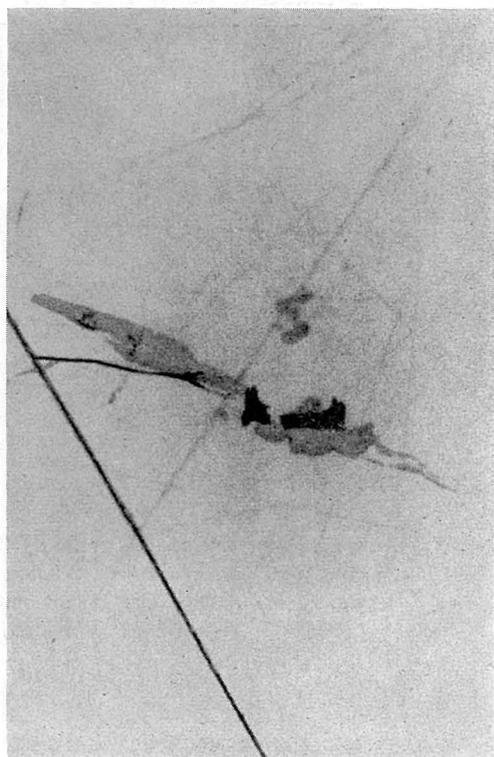


Abb. 5



Abb. 6

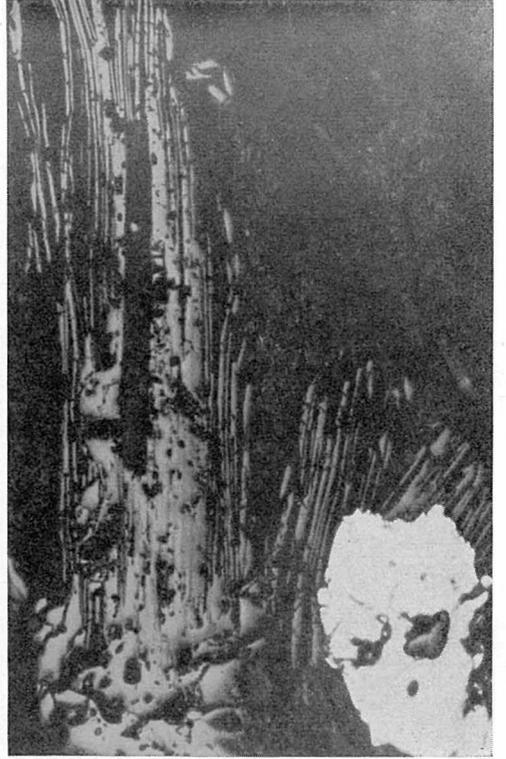


Abb. 7

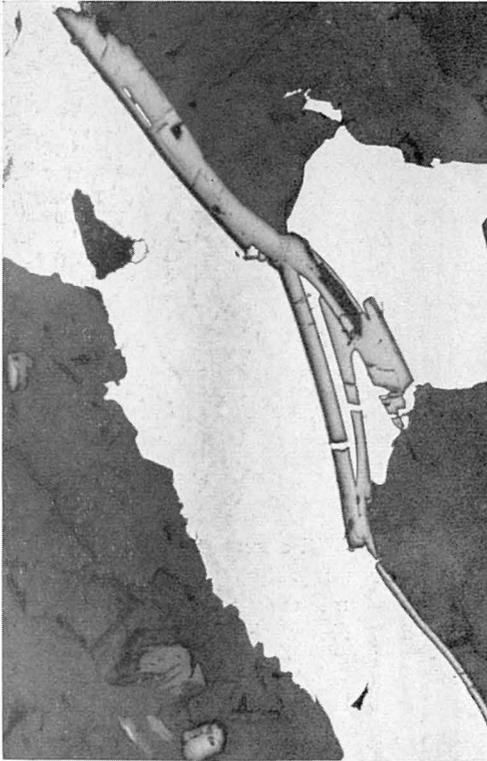
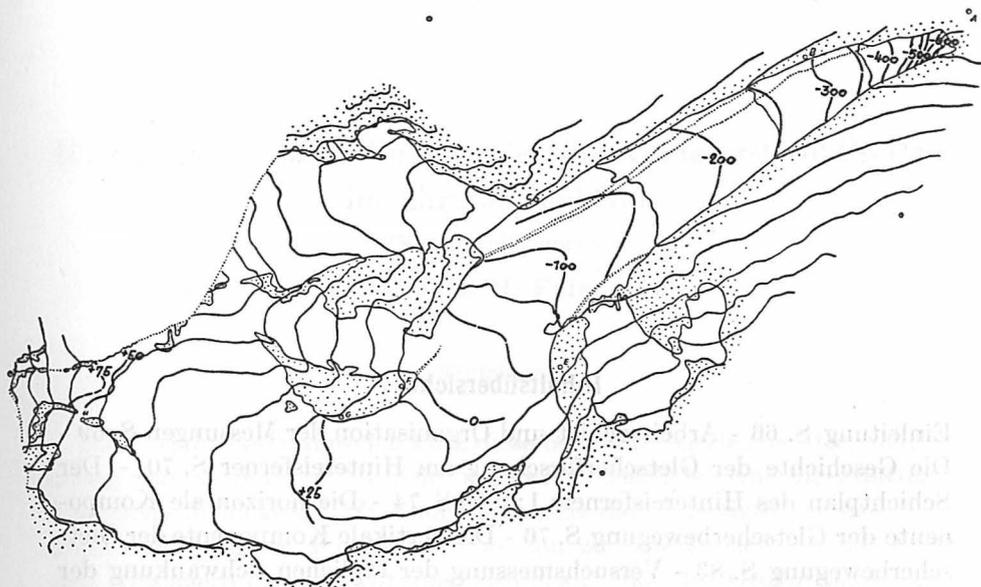
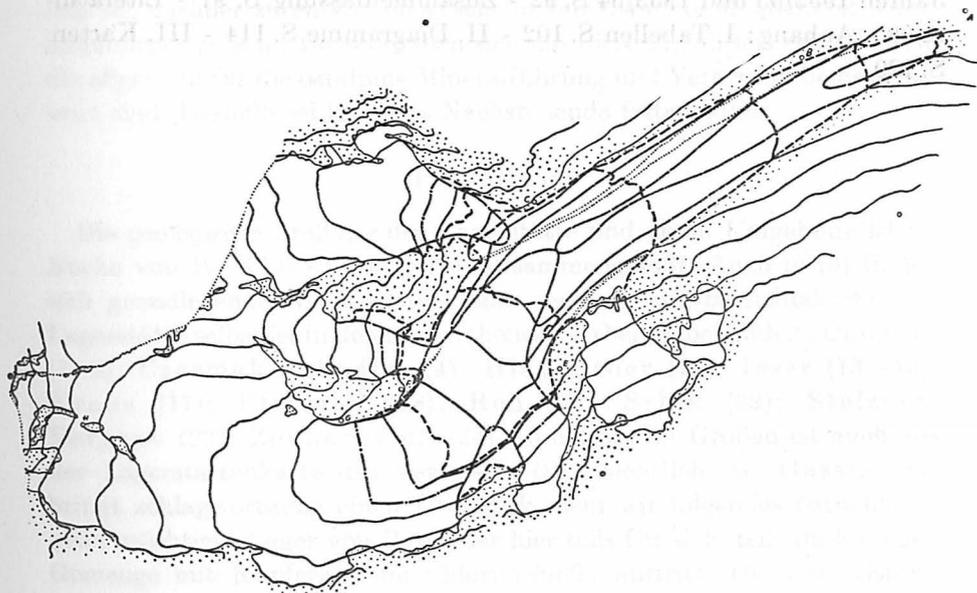


Abb. 8





Karte 33: Jahresbilanz 1953/54, Summe aus Auftrag bzw. Abschmelzung und der Höhenänderung durch die vertikale Bewegungskomponente, in cm



Karte 34: Konstruierte Zunge des Hintereisferners entsprechend dem Ernährungszustand des Firngebietes

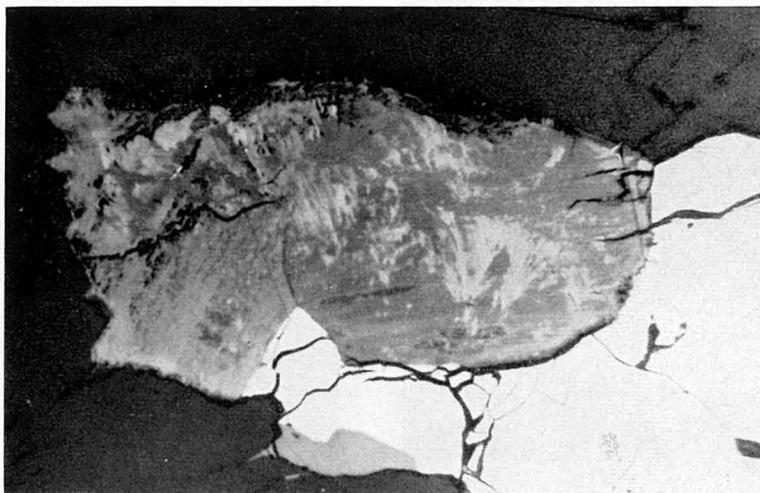


Abb. 13. Weiß: Kupferkies mit feinen Rissen; daran ein kleines Korn Zinkblende; schwarz ist Hornblende. Vom Kupferkies ausgehend eine Knospe aus Bornit (lichtgrau) mit feinsten Kupferkiesspindeln und Idait (grau in verschiedenen Tönungen, fast wie ein Glimmerpaket aussehend, Mitte). Im Idait eisblumenartig Büschel aus blaubleibendem Kupferindig (lichtgrau), der gegen die Spitze zu vorherrscht. Schliff 1888. 400:1.



Abb. 14. Unten und seitlich große Pyrite (weiß, Relief). In der Mitte Kupferkies (weiß, Sprünge). In diesen sprossen 2 Knospen, eine aus Idait (lichtgrau) mit Covellin (fast schwarz), die andere aus Bornit mit Kupferkiesspindeln und Covellin bestehend. Schwarz sind Silikate. Schliff 1888. Ölimmersion, 400:1.