©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Ber. Nat.-Med. Ver. Innsbruck	Band 54	S. 75—150	Innsbruck, November 1966

Untersuchung der vertikalen Komponente der Gletscherbewegung und der Deformation des Eises im Zungengebiet des Hintereisferners*

von

Karin SCHRAM

(Aus dem Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck; Vorstand: Univ.-Prof. Dr. H. HOINKES)

Synopsis: The vertical component of the ice velocity v_z on the tongue of the Hintereisferner (Ötztal Alps) was measured by means of stakes and stone-lines during the period from 1957 to 1959. The mean value of v_z was found to be 1,50 m/year in the area under investigation of approx. 2,0 km². This supply of ice amounts to 40% of the net ablation total. This high proportion indicates the strongly negative mass budget of the Hintereisferner in the years under consideration.
The strain-rate distribution in an area of about 0,3 km² was determined by using a network of 30 stakes. This was established in the summer of 1957 in the region of the confluence of the Hintereisferner and the Langtaufererjochferner and was remeasured annually untill the summer of 1963. In the crevassed area big tensile strain-rates occur whereas the area of the confluence shows only compressive strain-rates.

Inhalt

Einleitung 76

I. Beschreibung der Messungen 78
I. 1. Messung der Oberflächengeschwindigkeit 78
I. 1. 1. Messung der Oberflächengeschwindigkeit mit Hilfe von Pegeln . . 78
I. 1. 2. Messung der Oberflächengeschwindigkeit mit Hilfe von Steinlinien . 87
I. 2. Messung der Nettoablation 89
I. 2. 1. Messung der Nettoablation im Pegelnetz 89
I. 2. 2. Bestimmung der Nettoablation im Gebiet der Steinlinien 89
I. 3. Bestimmung der Oberflächenneigung des Gletschers 90
I. 3. 1. Bestimmung der Oberflächenneigung im Pegelnetz 90
I. 3. 2. Bestimmung der Oberflächenneigung im Gebiet der Steinlinie 1 . . 92

II. Vertikalbewegung 92
II. 1. Methoden zur Berechnung der Vertikalbewegung 92
II. 1. 1. Definition der Vertikalbewegung 92
II. 1. 2. Berechnung der Vertikalbewegung mit Hilfe der Messungen an Pegeln 93

* Diese Arbeit wurde von der Philosophischen Fakultät der Universität Innsbruck als Dissertation angenommen.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

II. 1. 3. Berechnung der Vertikalbewegung mit Hilfe der Messungen bei der Steinlinie 1 94
II. 1. 4. Berechnung der Vertikalbewegung mit Hilfe der Messungen bei den Steinlinien 3 und 6 94
II. 2. Ergebnisse 96
II. 2. 1. Die Vertikalbewegung am Fließweg der Pegel 96
II. 2. 2. Die Beziehung zwischen Nettoablation und Vertikalbewegung . . . 102
II. 2. 3. Die Verteilung der Vertikalbewegung auf der Zunge des Hintereisferners 105
III. Hauptdilatationen
III. 1. Theorie zur Berechnung der Hauptdilatationen 107
III. 2. Berechnung der Hauptdilatationen 116
III. 3. Diskussion der Ergebnisse 120
Zusammenfassung 130
Nachwort 131
Literaturnachweis 131
Verzeichnis der Tabellen 132
Tabellen 133

Einleitung

Im Sommer 1957 wurde am Hintereisferner in den Ötztaler Alpen ein Meßprogramm zum Studium der Gletscherbewegung begonnen. Dafür schien das Gebiet des Zusammenflusses des Hintereisferners mit dem Langtaufererjochferner besonders interessant, da der Langtaufererjochferner an dieser Stelle zu einer Änderung seiner Fließrichtung gezwungen und auf seine halbe Breite zusammengedrängt wird (Abb. 1). Es muß also an dieser Stelle ein Gebiet großen Druckes vorhanden sein. Dieses wird von zwei Spaltensystemen begrenzt, die auf eine Dehnung des Eises hinweisen.

An 30 Punkten der Gletscheroberfläche wurden durch sechs Jahre hindurch (vom Sommer 1957 bis zum Sommer 1963) die Geschwindigkeitsvektoren bestimmt. Mit Hilfe dieser Messungen sollte die Größe und Richtung der Hauptdilatationen berechnet werden, die ein Bild der Spannungsverhältnisse an der Gletscheroberfläche geben. Im Gebiet der Spaltensysteme sind große Dehnungen senkrecht zur Längsachse der aufreißenden Spalten zu erwarten, während sich das Gebiet dazwischen durch große Stauchungen und verschwindende Dehnungen auszeichnen sollte.

Ein zweites interessantes Problem bildet die Untersuchung der vertikalen Komponente des Geschwindigkeitsvektors. Diese vertikale Komponente der Geschwindigkeit, die im folgenden kurz als Vertikalbewegung bezeichnet wird, ist im Nährgebiet des Gletschers nach unten, im Zehrgebiet nach oben gerichtet. Sie wirkt der Akkumulation bzw. Ablation entgegen, da der Gletscher durch die Bewegung seine Oberfläche zu erhalten sucht.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 1: Luftaufnahme des Zusammenflusses des Hintereisferners mit dem Langtauferer-jochferner am 31. 8. 1953.
Vervielfältigt mit Genehmigung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (Landesaufnahme) in Wien; Zl. L 64.076/65.

Besonders wertvoll war es, daß die Meßergebnisse von drei Steinlinien auf der Zunge des Hintereisferners in die Betrachtung einbezogen werden konnten[1]. Die Untersuchungen konnten somit auf das ganze Zungengebiet vom Zusammenfluß des Hintereis- und Langtaufererjochferners bis zum Ende der Zunge ausgedehnt werden. Es sollte untersucht werden, welche Bedeutung die Vertikalbewegung für den Massenhaushalt der Gletscherzunge hat. Dazu war es notwendig, die Größe und Verteilung der Vertikalbewegung auf der Zunge zu ermitteln und abzuschätzen,

[1] Für die Überlassung der Meßwerte sei Herrn Prof. Dr. H. SCHATZ an dieser Stelle der beste Dank ausgesprochen.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

wieviel Kubikmeter Eis in dieses Gebiet durch die Bewegung transportiert werden und damit die Ablation teilweise kompensieren.

Da die Vertikalbewegung vor allem durch die Ablation und die Akkumulation verursacht wird, muß ein enger Zusammenhang zwischen diesen Größen bestehen. Bei einem stationären Gletscher mit konstanter Oberflächenneigung im Längsprofil muß in jedem Punkt die Vertikalbewegung gleich dem Nettobetrag des spezifischen Massenhaushaltes sein; die Vertikalbewegung als Funktion der Nettoablation dargestellt muß eine Gerade ergeben, die durch den Ursprung geht und bei Wahl gleicher Einheiten unter 45° zur positiven Abszissenachse geneigt ist. In der Arbeit wird diskutiert, wie sich diese Funktion für einen nicht stationären Gletscher ändern muß. Mit Hilfe des vorhandenen Materials sollten die theoretisch erwarteten Ergebnisse für den seit Jahrzehnten im Rückzug begriffenen Hintereisferner überprüft werden.

I. Beschreibung der Messungen

I. 1. Messung der Oberflächengeschwindigkeit

Die Messung der Bewegung der Gletscheroberfläche wurde mit Hilfe von Pegeln und Steinlinien ausgeführt.

I. 1. 1. Messung der Oberflächengeschwindigkeit mit Hilfe von Pegeln

Um die Bewegung am Zusammenfluß des Hintereisferners mit dem Langtaufererjochferner zu messen, wurden im Herbst 1957 dreißig Stangen in das Eis eingebohrt. Es wurden 4 m lange Hartholzstangen mit kreisförmigem Querschnitt von 2 cm Durchmesser verwendet; diese waren weiß gestrichen, um eine allzu große Erwärmung der Pegel und damit eine starke Erweiterung des Bohrloches zu verhindern. Die Stangen wurden in 5 Profilen angeordnet (Abb. 10), von denen das Profil *B* mit 10 Stangen die ganze Breite des Langtaufererjoch- und Hintereisferners erfaßte. Die 4 Profile *A*, *B*, *C* und *D* waren ungefähr senkrecht zur Fließrichtung des Hintereisferners aufgestellt, das Profil *L* senkrecht zu der des Langtaufererjochferners. Die Stangen mußten mindestens einmal im Jahr nachgebohrt werden. Es wurde möglichst darauf geachtet, daß sie nie weniger als 1 m tief im Eis waren.

Im Sommer 1957 wurden drei Fixpunkte *X*, *Y* und *Z* (Abb. 2) am Rand des Gletschers im Felsen markiert und ihre Koordinaten durch Rückwärtseinschneiden bestimmt:

	x	*y*	*z*
X	33.810,73	185.932,09	2.783,00
Y	33.211,64	185.445,88	2.859,25
Z	34.325,45	185.173,70	2.801,08

Das verwendete Koordinatensystem ist das bei den Landesvermessungen übliche von Gauß-Krüger. Der mittlere Fehler der Koordinaten der Fixpunkte beträgt $\pm$ 0,20 m.

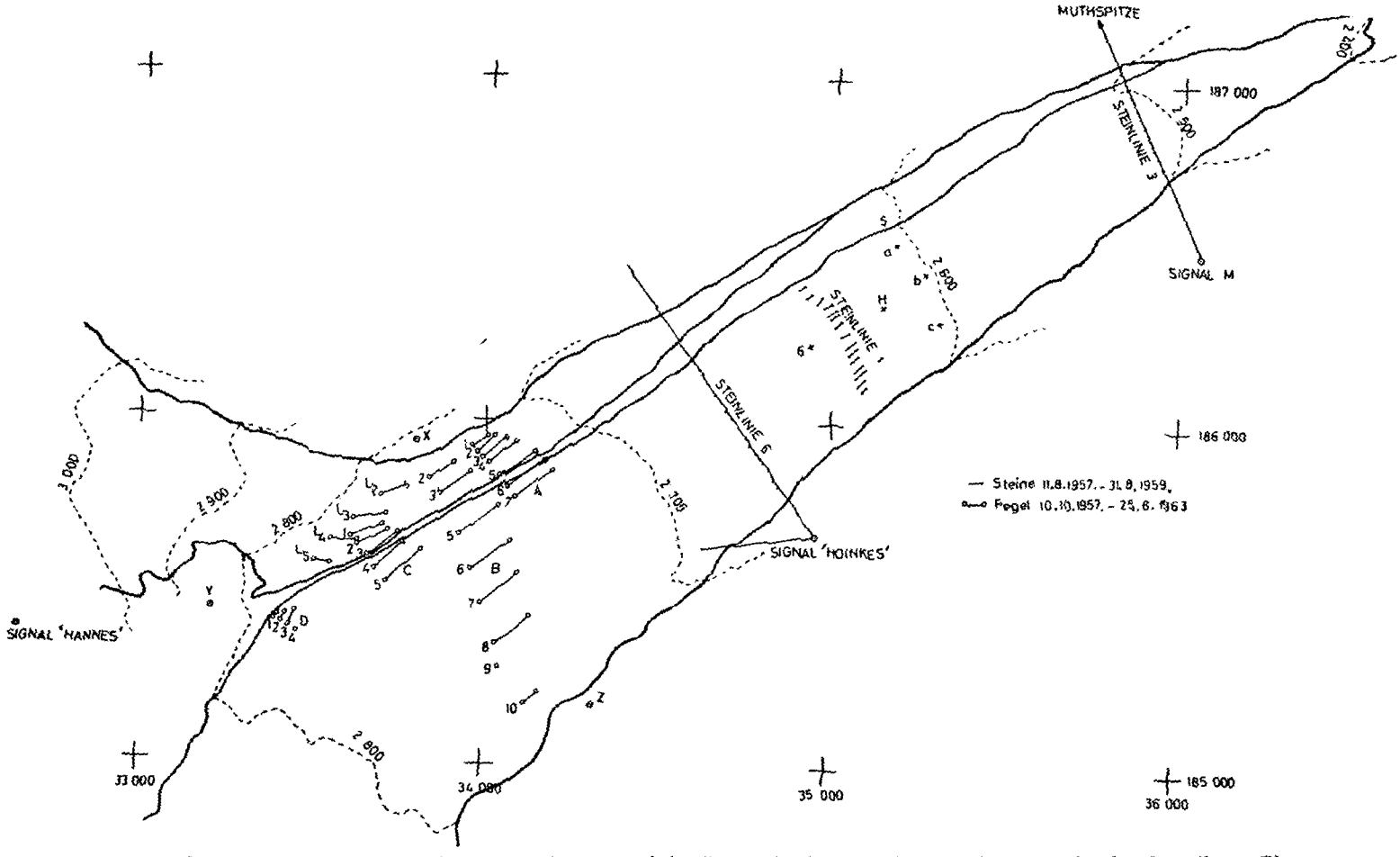

Abb. 2: Die Lage der Pegel, Steinlinien *und Signale* auf der Zunge des Hintereisferners. Kartographische Grundlage: Photogrammetrische Aufnahme des Hintereisferners im Maßstab 1:10.000 im Sommer 1959 aufgenommen vom Institut für Photogrammetrie, Topographie und *Allgemeine Kartographie* der TH München.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Die Verbindungen der drei Fixpunkte wurden als Basis für die Vorwärtseinschnitte zur Bestimmung der Koordinaten der Pegel in jedem Sommer von 1957 bis 1963 verwendet. Es wurden von allen drei Punkten X, Y und Z aus die Stangenspitzen mit einem Theodoliten „Wild T2" eingemessen. Entsprechend den drei Basislinien konnten jeweils drei Werte für jede Koordinate berechnet werden, deren Mittelwert zu den weiteren Rechnungen verwendet wurde.

Tabelle 1 gibt die Koordinaten der Stangenspitzen am Beginn der Meßreihe (10. 10. 1957) und an derem Ende (25. 8. 1963). Die Stangen $B\,1$, $B\,4$, $L\,1$ und $D\,4$ gingen schon nach dem ersten oder zweiten Jahr durch Ausapern verloren und wurden nicht mehr neu gesetzt. Die Pegel $A\,1$, $C\,4$ und $L\,2$ gingen im Haushaltsjahr 1962/63 verloren, es wurden daher die am 10. 8. 1962 gemessenen Koordinaten angegeben.

In Abb. 10 ist der Fließweg in der x-y-Ebene jeder Stange durch lineare Verbindung der Standorte zur Zeit der Einmessungen dargestellt. Die Einmessungen erfolgten am 10. 10. 1957, 3. 10. 1958, 5. 9. 1959, 15. 9. 1960, 18. 8. 1961, 10. 8. 1962 und 25. 8. 1963.

Jede der durch Vorwärtseinschnitt gewonnenen Koordinaten ist mit Fehlern behaftet, die im wesentlichen von der Ungenauigkeit in der Bestimmung der Basislänge, der Ableseungenauigkeit am Theodoliten und von der Refraktion herrühren. Da für jede Koordinate nur drei Werte ermittelt wurden, war es nicht sinnvoll, den mittleren Fehler des arithmetischen Mittels zu berechnen, so daß ein anderer Weg zur Angabe des Fehlers der Messungen gewählt werden mußte.

Die drei Meßwerte jeder Koordinate ergaben für alle Pegel ungefähr 80 Abweichungen für jede Koordinate, die zur Bestimmung eines mittleren Fehlers der Einzelmessung herangezogen wurden. Dieser ergibt sich aus der quadratischen Mittelung aller Abweichungen vi:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma\, v_i^2}{n-1,}},$$

wobei n die Anzahl der Einzelmessungen ist. Nach dieser Formel wurde für die Einmessung am 10. 10. 1957 für die x- und y-Koordinaten ein mittlerer Fehler der Einzelmessung von 20 cm und für die z-Koordinate von 10 cm berechnet. Dieser Fehler hat die gleiche Größenordnung wie die Unsicherheit in der Bestimmung der Koordinaten der Fixpunkte X, Y und Z. Das bedeutet, daß die Ableseungenauigkeit am Theodoliten und der Fehler wegen der Refraktion klein sind gegenüber der Ungenauigkeit in der Bestimmung der Basislänge für die Vorwärtseinschnitte.

Bei der Bestimmung der Differenzen der Koordinaten gehen als weitere Fehler Ungenauigkeiten infolge der Versetzung und Schiefstellung der Pegel ein, die nicht berechnet werden können. Aus der Homogenität der Ergebnisse kann geschlossen werden, daß sich diese Fehler teilweise aufhoben.

Bei den Nachbohrungen wurde die Lage der Pegel gegenüber dem Eis verändert und es mußten folgende Korrekturen an die gemessenen Koordinaten angebracht werden:

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

a) Korrektur für die Koordinate x: das Bohrloch, in dem die Stange stand, erweiterte sich trotz des weißen Anstriches der Stange im Sommer an der Oberfläche, da die Stange wärmer war als das Eis. Es füllte sich mit Schmelzwasser, und an seinem Boden sammelte sich Sand an. Es war daher selten möglich, die Stange im gleichen Loch tiefer zu setzen. Es wurde darauf geachtet, daß die Stangen immer in der Richtung der x-Achse versetzt wurden, so daß nur die Abszissen x, nicht aber die Ordinaten y korrigiert werden mußten.

b) Korrektur für die Höhenkoordinate z: da die Stangen bei den Nachbohrungen tiefer gesetzt wurden, mußten diese Bohrkorrekturen zu den gemessenen Höhenkoordinaten addiert werden.

In den Tabellen 2, 3 und 4 sind die korrigierten Differenzen der Koordinaten angegeben. Man erhält daher durch Addition dieser Differenzen zu den Koordinaten vom 10. 10. 1957 (Tab. 1) die Werte für die Standorte der Stangen ohne Neubohrungen. Die Summe der Differenzen aus den Tabellen 2, 3 und 4 der einzelnen Jahre kann nicht mit der Differenz der Koordinaten vom 25. 8. 1963 und vom 10. 10. 1957 übereinstimmen, da die Koordinaten vom 25. 8. 1963 den tatsächlichen Standort der versetzten Stangen geben. Der dabei aufscheinende Unterschied entspricht den besprochenen Korrekturen a und b.

Um den Weg der Stangen zu veranschaulichen, wurden die Fließwege d gegenüber den gemessenen Höhendifferenzen Δz aufgetragen (Abb. 3 bis 7). Unter Fließweg wird die Länge d des Geschwindigkeitsvektors zwischen zwei Einmessungen verstanden, also $d = \sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2+\Delta z^2}$ unter Berücksichtigung der Korrekturen a und b. Die aus den Tabellen 2, 3 und 4 entnommenen Differenzen der Koordinaten ergeben nach dieser Formel für jede Stange die Fließwege in den einzelnen Jahren, die in Tab. 5 zusammengefaßt sind. Die Abbildungen 3 bis 7 sind Summendarstellungen der Fließwege in der Abszissenachse und der Höhendifferenzen in der Ordinatenachse. Es sind graphische Darstellungen der Wege der Stangen in bezug auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem, dessen z-Achse vertikal steht. Es ist zu beachten, daß der Maßstab in den beiden Richtungen verschieden gewählt wurde.

Das Vorzeichen für die Höhendifferenzen Δz ist so gewählt, daß einem positiven Wert von Δz eine Bewegung der Stange nach oben, also einer Vergrößerung der Seehöhe der Stangenspitze entspricht. Δz ist die Differenz zwischen der korrigierten Höhenkoordinate der einen Einmessung und der Höhenkoordinate der vorhergehenden:

$$\Delta z = z_{(n+1)\text{ korr.}} - z_n$$

Aus den Abbildungen 3 bis 7 geht hervor, daß dort, wo der Gletscher flach war, die Stange eine zur Horizontalen aufsteigende Bewegung durchführte. Dies traf für das Gebiet der Stangen A 1, A 2, A 3 in den ersten zwei Jahren der Meßreihe, und der Stangen B 2, B 3, B 10, D 1, D 2, D 3 und D 4 für alle Jahre zu. Da diese Kurven den Weg der Stangenspitze wiedergeben, bedeutet das Aufsteigen nicht, daß sich

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

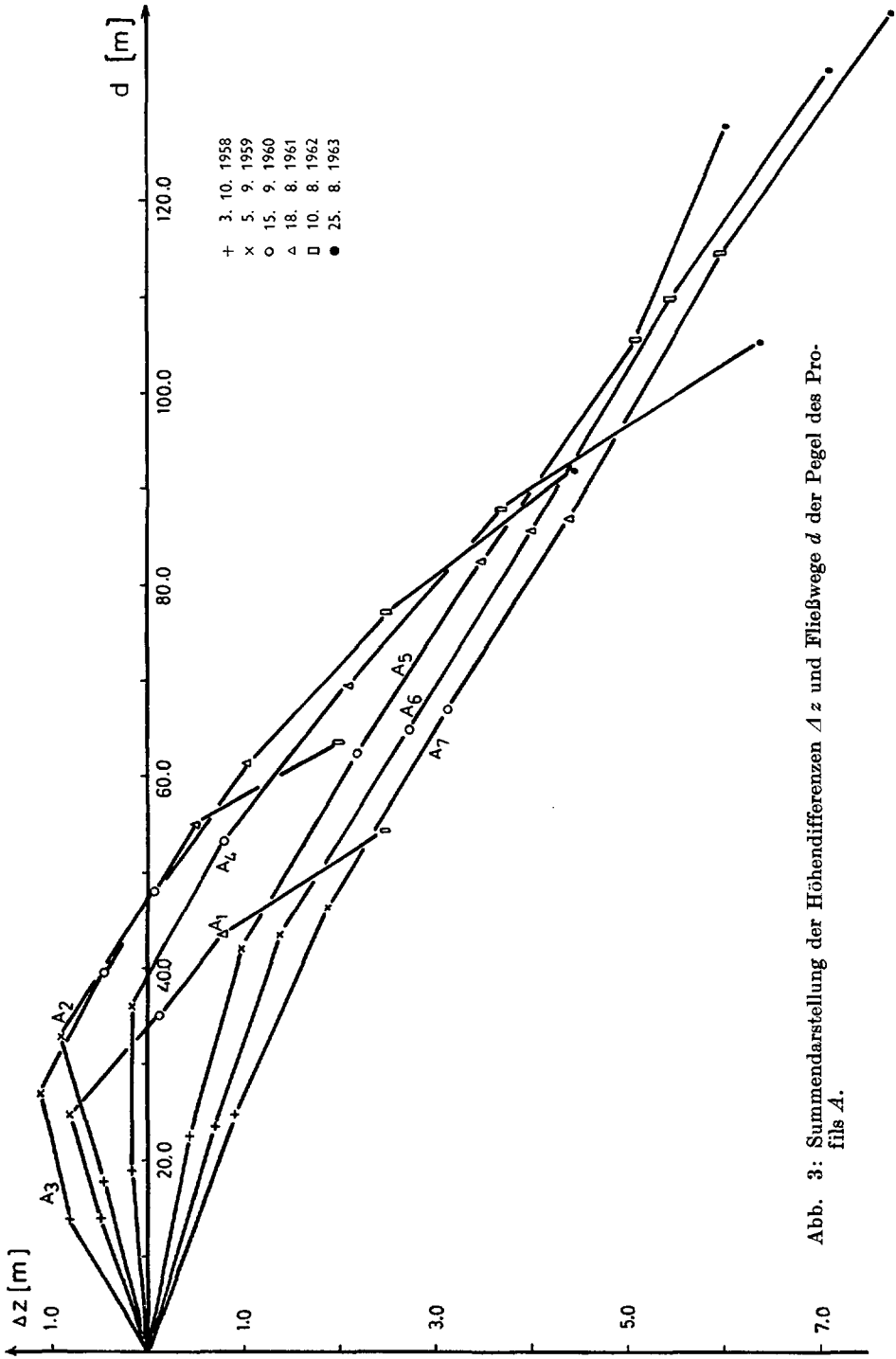

Abb. 3: Summendarstellung der Höhendifferenzen Δz und Fließwege d der Pegel des Profils A.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

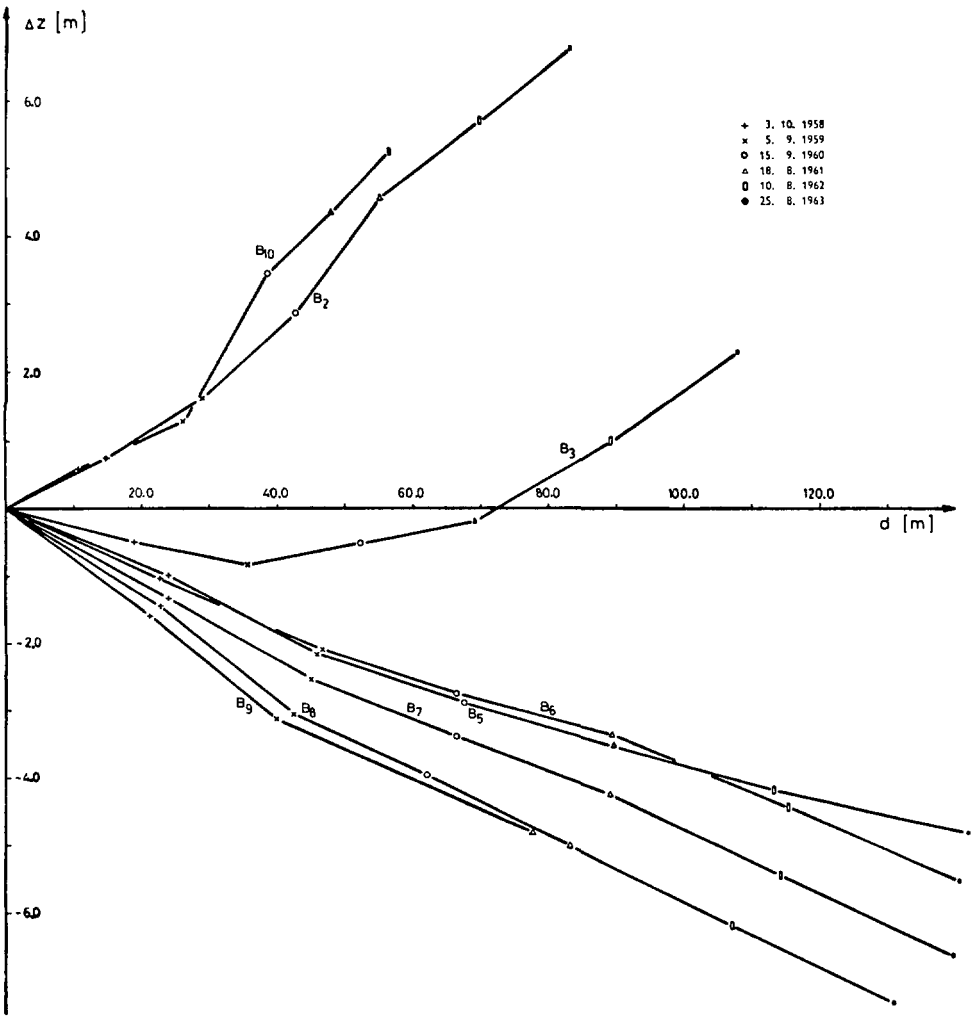

Abb. 4: Summendarstellung der Höhendifferenzen Δz und der Fließwege d der Pegel des Profils B.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

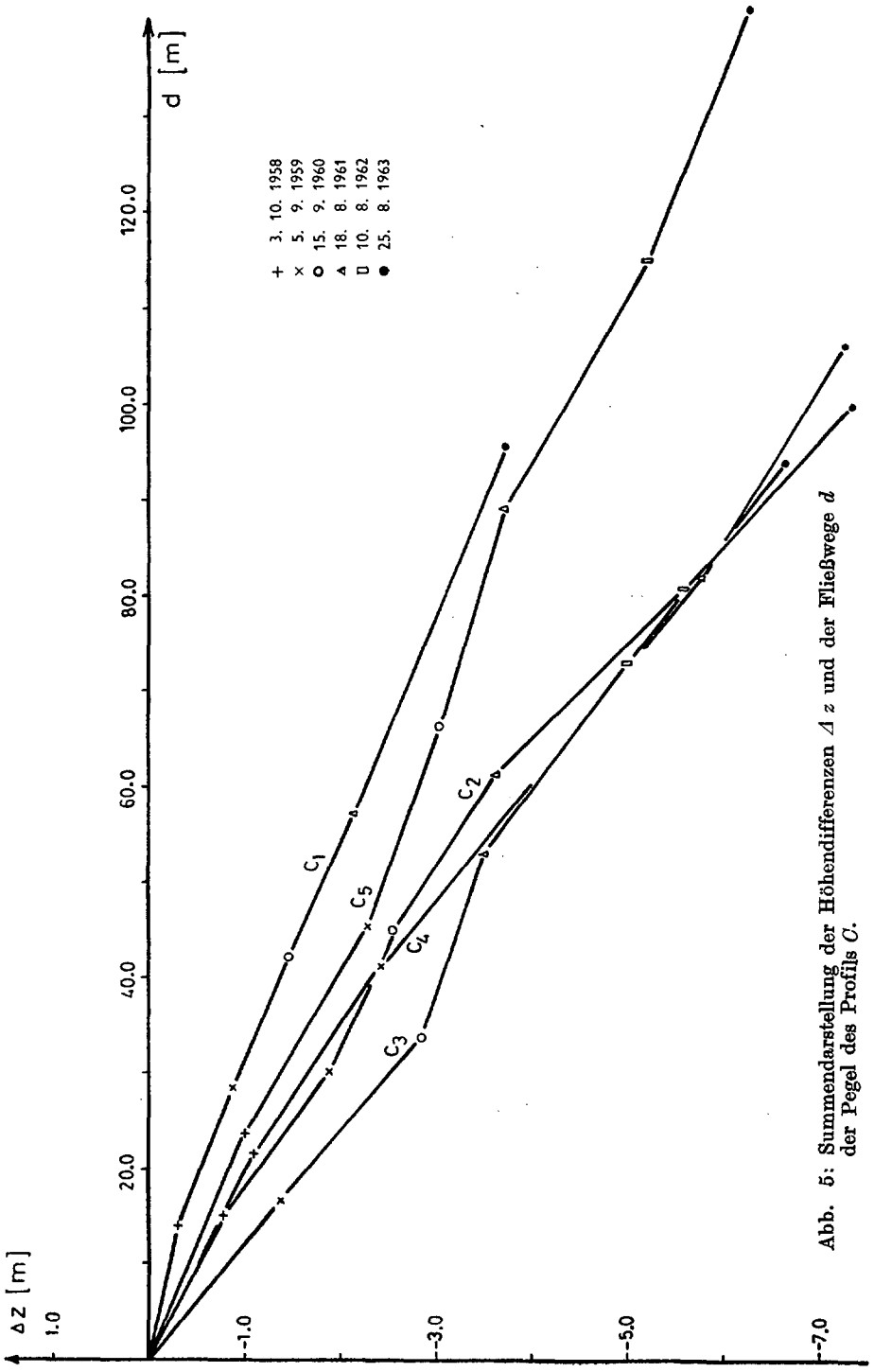

Abb. 5: Summendarstellung der Höhendifferenzen Δz und der Fließwege d der Pegel des Profils C.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

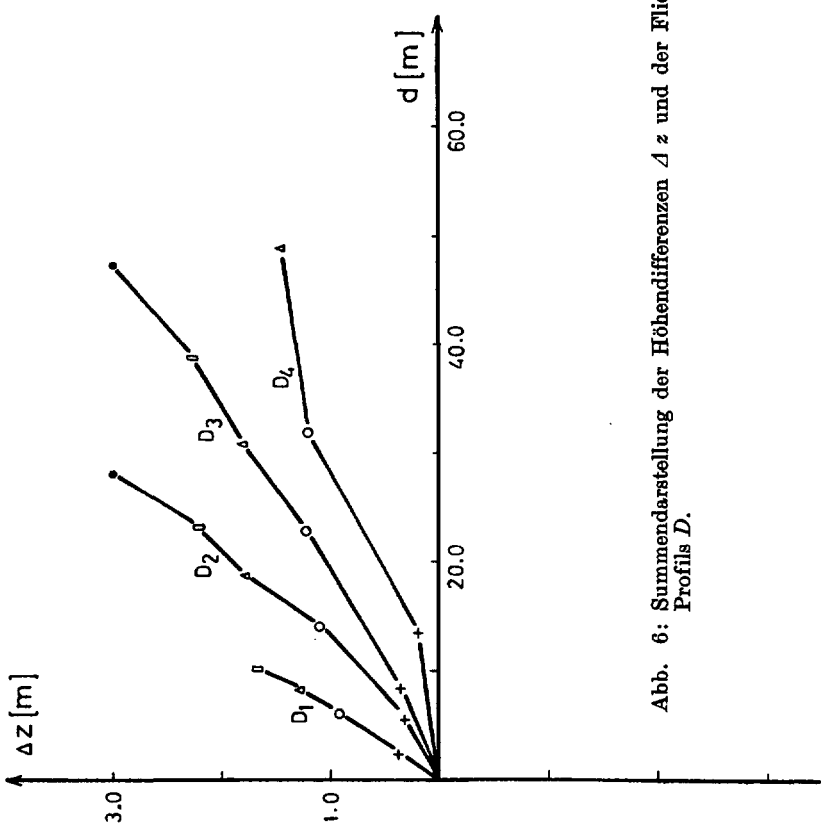

Abb. 6: Summendarstellung der Höhendifferenzen Δz und der Fließwege d der Pegel des Profils D.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

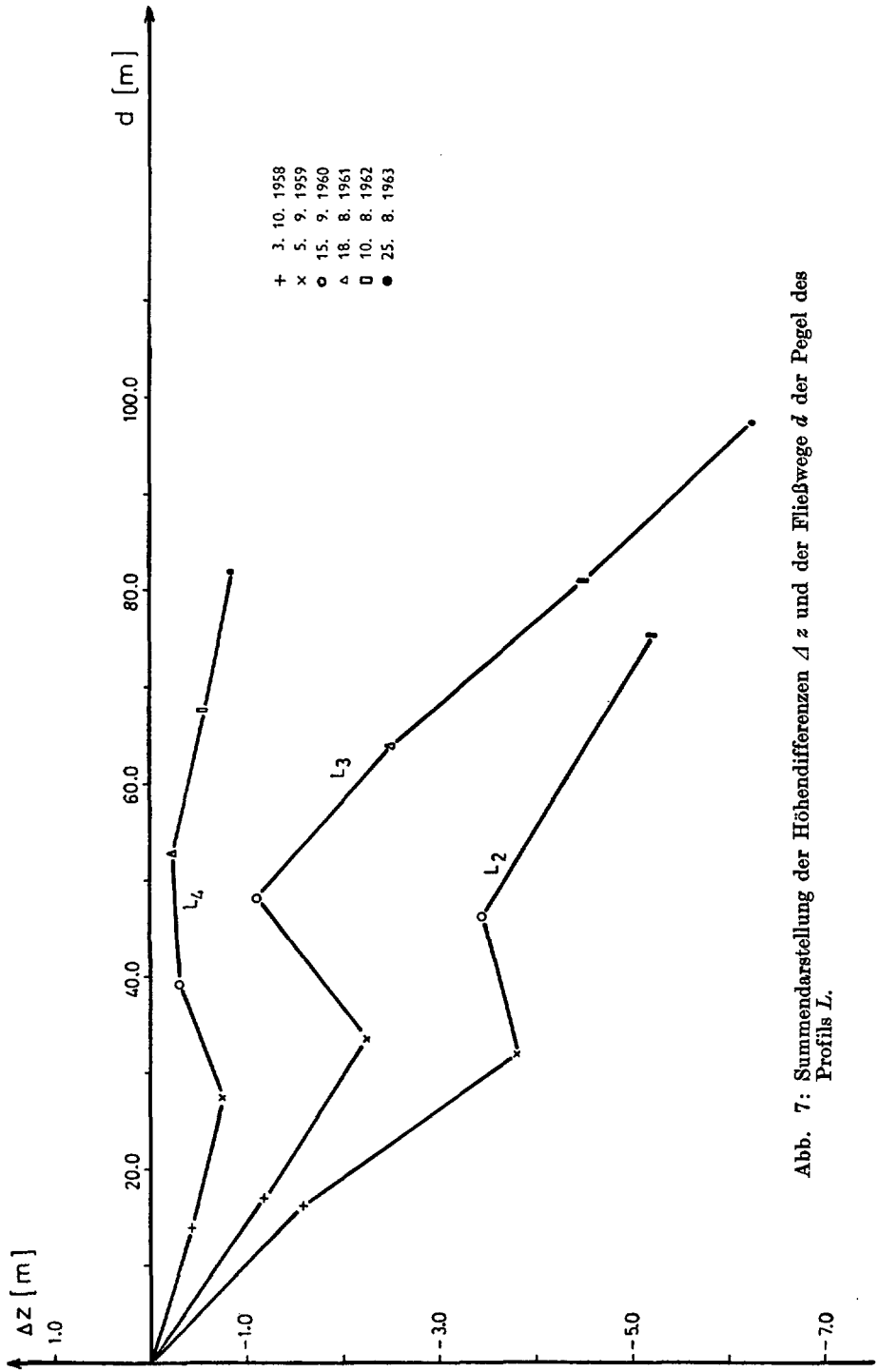

Abb. 7: Summendarstellung der Höhendifferenzen Δz und der Fließwege d der Pegel des Profils L.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

dort die Gletscheroberfläche hob, da die Ablation die vertikale Bewegung an dieser Stelle des Hintereisferners überkompensierte.

I. 1. 2. Messung der Oberflächengeschwindigkeit mit Hilfe von Steinlinien

In Weiterführung der von H. HESS, H. BLÜMCKE und Mitarbeitern (Blümcke und Hess 1899) begonnenen Arbeiten betreut H. SCHATZ seit 1932 drei Steinlinien auf der Zunge des Hintereisferners (Schatz 1953, 1963), die in jedem Sommer neu eingemessen werden. Sie bestehen aus flachen Steinen, deren Größe so gewählt ist, daß sie weder durch Schmelzung in das Eis einsinken, noch einen Gletschertisch bilden, sondern auf der Oberfläche liegen bleiben.

Die Linie 1 (siehe Abb. 2) wurde 1932 angelegt, die Steine wandern seither über die Zunge des Hintereisferners. Ihre Lage im Jahr 1957 und 1959 ist aus Abb. 2 ersichtlich. In jedem Sommer werden die drei Koordinaten ausgewählter Steine durch Rückwärtseinschnitt, die der Zwischenpunkte durch Tachymetrierung bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tab. 11 enthalten, der Fehler der Höhenkoordinate ist nach Angabe von H. SCHATZ kleiner als 0,30 m.

Die Linie 3 liegt in der Verbindungslinie des Signals *M* mit dem Signal Muthspitze Stange, die Linie 6 geht vom Signal „Hoinkes" aus und bildet mit der Verbindungslinie Signal „Hoinkes" und Signal „Hannes" einen Winkel von 60°. Die Signale sind in Abb. 2 eingezeichnet, ihre Koordinaten sind:

	x	*y*	*z*
Hannes	32.647,71	185.380,11	3.191,6
Hoinkes	34.959,11	185.676,37	2.747,0
Signal *M*	36.057,95	186.508,83	2.644,2
Muthspitze Stange	35.301,80	188.143,20	3.257,9

Vor jeder Einmessung werden die Steine wieder auf die Linien 3 und 6 zurückgelegt und dann ihre Höhenkoordinaten und ihre Abstände von den Fixpunkten *M* bzw. „Hoinkes" durch Rückwärtseinschnitt und Tachymetrierung bestimmt. Man erhält also bei den Linien 3 und 6 die Höhendifferenz eines Querprofils über die Gletscheroberfläche, während bei der Linie 1 die Gletscherneigung berücksichtigt werden muß, um eine Aussage über das Einsinken der Oberfläche im Profilquerschnitt zu erhalten.

In Abb. 8 sind die Meßergebnisse der Linien 3 und 6 für den 11. 8. 1957 und für den 1. 9. 1959 wiedergegeben. Das Zurücklegen der Steine auf die Ausgangslinie erfolgt möglichst in der Fließrichtung. Da diese nicht genau bekannt ist, kommt der Stein zwar wieder auf die Linie, aber nicht an seinem Ausgangspunkt zu liegen. Um eine daraus resultierende Ungenauigkeit in der Bestimmung der Höhendifferenzen der einzelnen Steine zu vermeiden, wurden die Differenzen der Höhenkoordinaten der Lage der Steine von 1959 aus der Abb. 8 graphisch durch lineare Interpolation zwischen den gemessenen Punkten von 1957 ermittelt.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

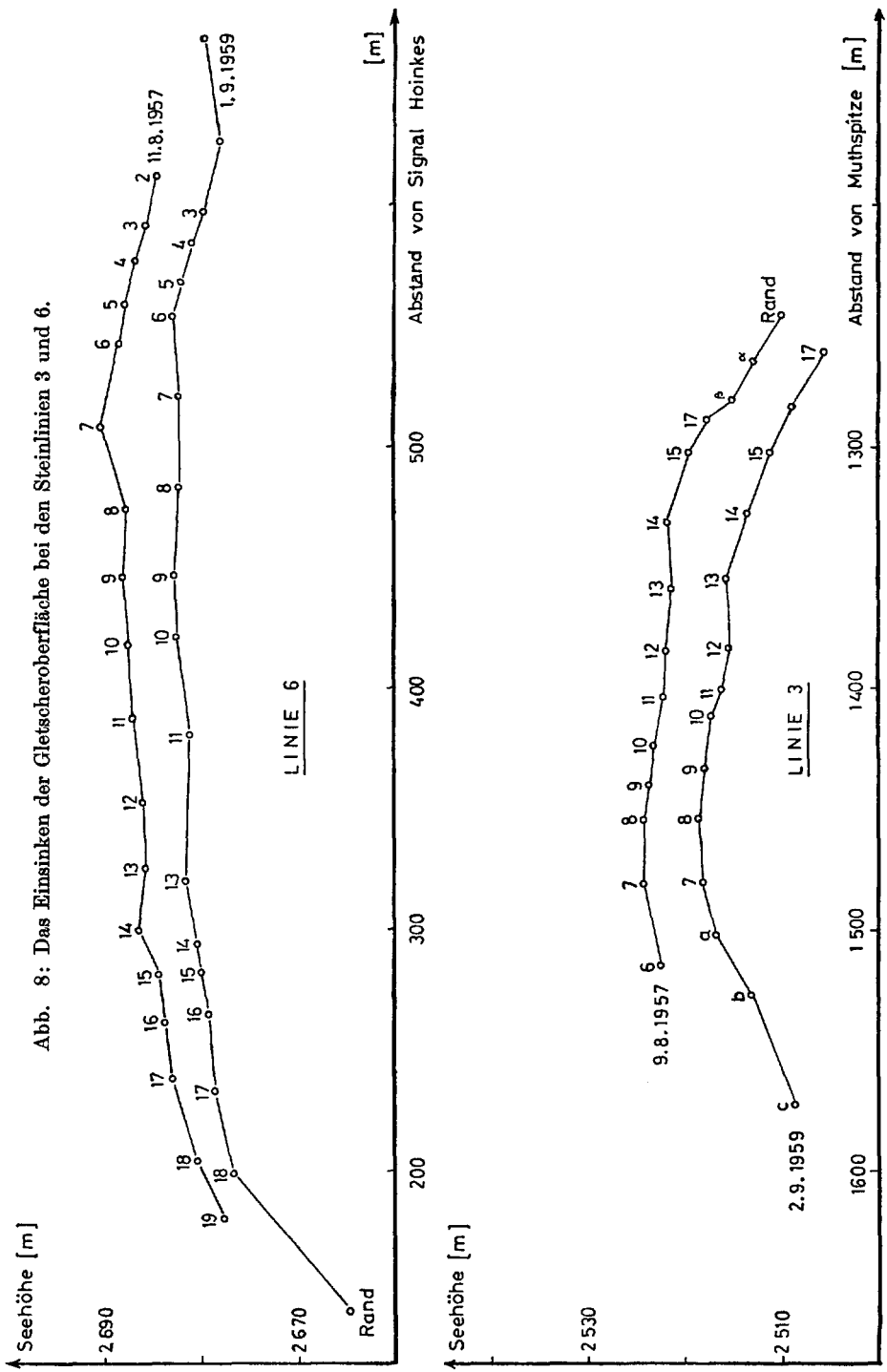

Abb. 8: Das Einsinken der Gletscheroberfläche bei den Steinlinien 3 und 6.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

I. 2. Messung der Nettoablation

I. 2. 1. Messung der Nettoablation im Pegelnetz

An den Pegeln wurde bei jeder Nachbohrung bzw. Einmessung die über der Oberfläche sichtbare Länge jeder Stange gemessen, so daß aus der Differenz die Nettoeisablation in den einzelnen Zeitabschnitten angegeben werden kann. Unter Mithilfe von Angehörigen bzw. Mitarbeitern des Institutes für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck wurden im Rahmen des glazial-meteorologischen Forschungsprogramms am Hintereisferner Messungen auch jeweils am Ende der Haushaltsjahre durchgeführt. Tab. 6 gibt die Nettoablationswerte für die Haushaltsjahre von 1957 bis 1963. Der Einfluß des Standortes der Stange auf die Nettoablation zeigt sich besonders deutlich an der größeren Abschmelzung am Rand gegenüber der in der Mitte des Gletschers. Dies ist beim Profil *B* schön zu sehen, das sich über die ganze Breite des Hintereisferners erstreckte. Dieser Unterschied in der Nettoablation wird durch vermehrte Verschmutzung der randnahen Teile der Gletscherzunge, durch vermehrte turbulente Wärmezufuhr und durch Rückstrahlung der Felsufer verursacht. Bei allen Stangen zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Nettoablationswerten der einzelnen Haushaltsjahre. In den Jahren 1957/58 und 1958/59 wurden die höchsten Nettoablationswerte beobachtet, 1959/60 und 1960/61 relativ niedrige und in den zwei folgenden Jahren 1961/62 und 1962/63 wieder höhere. Dies ist nach H. HOINKES und R. RUDOLPH (HOINKES und RUDOLPH 1962 *A*) auf den kombinierten Einfluß der verschiedenen klimatischen Elemente zurückzuführen. Kurze Dauer der Ablationsperiode, größere Anzahl von Neuschneefällen im Sommer und Tagen mit viel Bewölkung lassen die niedrigen Nettoablationswerte in den Jahren 1959/60 und 1960/61 verstehen.

Dieser Gang der Nettoablation war nicht bei allen Stangen gleich stark ausgeprägt, da ein zweiter Effekt überlagert war. Die Stangen bewegten sich im Jahr 10 bis 20 m und durchwanderten daher im Laufe von 6 Jahren Gebiete, die sich durch Mikrounterschiede in der Exposition, Dauer der Ablationsperiode und der Albedo und damit durch die Ablation unterschieden.

Der Fehler der Einzelmessung der Ablation an Pegeln beträgt höchstens 2 cm, sofern die Pegel mehr als 1 m tief im Eis stehen, und wegen der Mikrounregelmäßigkeiten einheitlich eine Vorschrift zur Definition der Gletscheroberfläche bei der Messung beachtet wird. Nach H. HOINKES und H. LANG (HOINKES und LANG 1963) kann bei sorgfältigem Arbeiten auch der Fehler in der Bestimmung des Flächenmittels der Eisablation kleiner als 5% gehalten werden.

I. 2. 2. Bestimmung der Nettoablation im Gebiet der Steinlinien

Zur Bestimmung der Nettoablation im Gebiet der Steinlinien diente das von O. SCHIMPP und R. RUDOLPH 1952 aufgestellte Pegelnetz (SCHIMPP 1957, 1958), das ab 1955 bis 1959 und ab 1962 von H. HOINKES weitergeführt wurde.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Im Herbst 1957 wurde das Pegelnetz erweitert, wobei die ursprünglich verwendeten Pegel aus Vierkantholz (2,5×2,5 cm) durch runde Hartholzstangen (⌀ 2 cm) ersetzt wurden. Die Nettoablationsbeträge für die Lage der einzelnen Steine in den Haushaltsjahren 1957/58 und 1958/59 wurden der Dissertation von H. LANG (LANG 1962, HOINKES und LANG 1963) durch Interpolation zwischen den von ihm gezeichneten Isolinien entnommen (Tab. 12, 13 und 14).

Zur Berechnung der Vertikalbewegung bei den Steinlinien (siehe Kap. 2) war die Kenntnis der Nettoablation für die Zeit zwischen den Einmessungen notwendig, also zwischen dem 9. 8. 1957 und dem 31. 8. 1959 für die Linie 3, dem 11. 8. 1957 und 1. 9. 1959 für die Linie 6 und dem 11. 8. 1957 und 31. 8. 1959 für die Linie 1. Ablesungen am Pegelnetz erfolgten am 9. 8. 1957 und am 2. 9. 1959. Für dieses Zeitintervall wurde die Nettoablation berechnet, Isolinien konstruiert (Abb. 9) und zwischen diesen interpoliert. Der so bestimmte Betrag war für die Steine der Linie 3 um die Ablation von 2 Tagen, für die der Linie 6 um die Ablation von 3 Tagen und für die der Linie 1 um die von 4 Tagen zu hoch. Der Fehler wurde verkleinert, indem pro Tag ein durchschnittlicher Wert für dieses Gebiet des Gletschers von 4 cm Eisablation abgezogen wurde. Die korrigierten Beträge der Nettoablation sind in den Tabellen 12, 13 und 14 angegeben.

I. 3. Bestimmung der Oberflächenneigung des Gletschers

Die Stangen und Steine, die sich mit dem fließenden Eis bewegen, überwinden einen Höhenunterschied dadurch, daß die Oberfläche des Gletschers ein Gefälle aufweist. Um die Vertikalbewegung bestimmen zu können, muß die Höhendifferenz der Oberflächenpunkte des Gletschers bekannt sein, in denen sich die Stange oder der Stein zur Zeit der Einmessungen befindet (siehe Kap. 2).

I. 3. 1. Bestimmung der Oberflächenneigung im Pegelnetz

Um die Oberflächenneigung längs des Fließweges der Stangen für jedes Jahr angeben zu können, müßte in Richtung dieses Fließweges tachymetriert werden. Im Jahre 1959 wurde das versucht, aber es zeigte sich, daß am Gletscher die Fließrichtung nur schlecht geschätzt werden kann. Auch die Tachymetrierung im Sommer 1960 war nicht brauchbar, da die Richtungen der tachymetrierten Strahlen zu sehr von den Fließrichtungen abweichten. Es mußte also ein anderer Weg gefunden werden, um die Oberflächenneigung für jedes Jahr von 1957 bis 1963 angeben zu können.

Im Sommer 1963 wurden von einigen Stangen aus, deren Koordinaten durch die jährlich durchgeführten Vorwärtseinschnitte bestimmt wurden, sternförmig angeordnete Oberflächenprofile tachymetriert, so daß es möglich war, einen Höhenschichtenplan mit Stufen von 1 m zu zeichnen (Abb. 10). Es wurde angenommen, daß die Oberfläche in dem kleinen Gebiet des Pegelnetzes gleichmäßig eingesunken ist, d. h., daß sich die Oberflächenneigung in den sechs Jahren von 1957 bis 1963

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

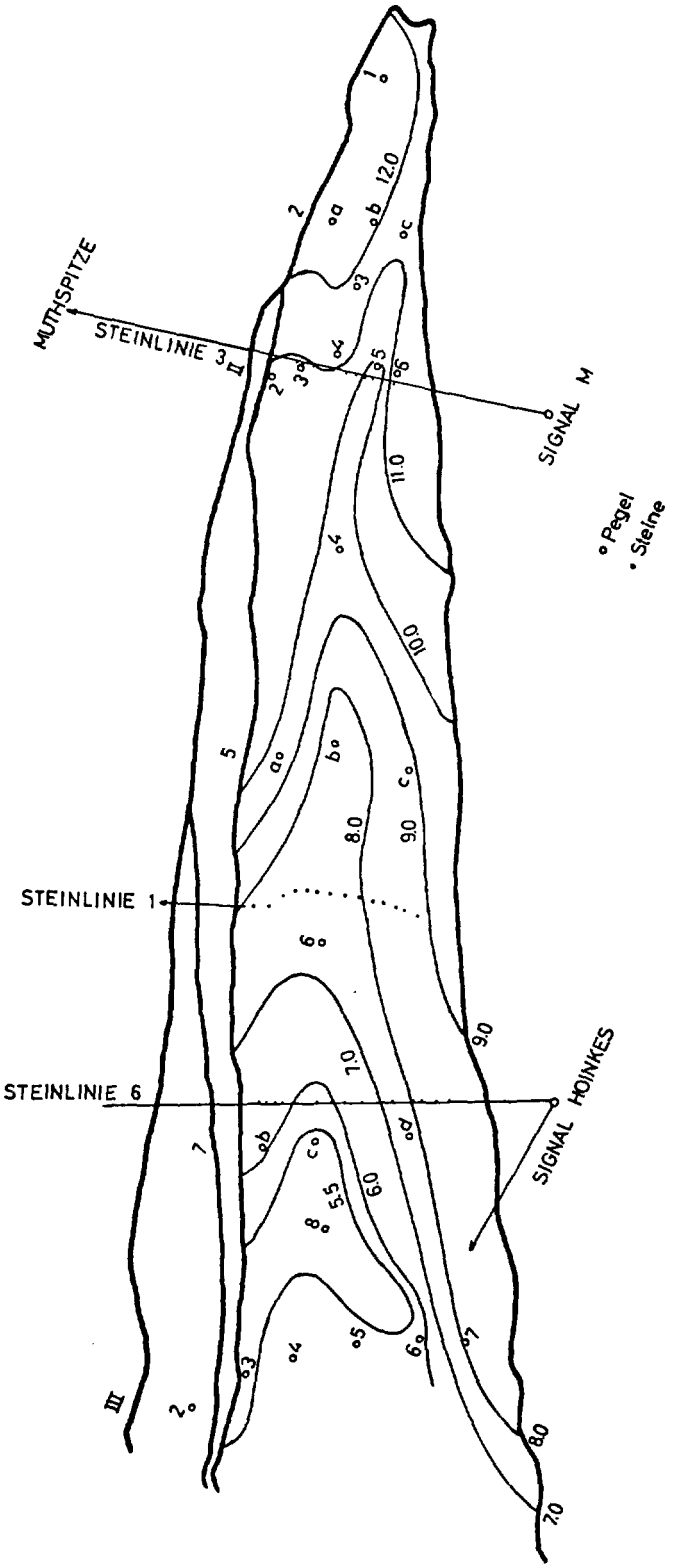

Abb. 9: Isolinien der Ablation [m Eis] vom 9. 8. 1957 bis 2. 9. 1959.
Kartographische Grundlage: Photogrammetrische Aufnahme des Hintereisferners im Maßstab 1:10.000 im Sommer 1959 aufgenommen vom Institut für Photogrammetrie, Topographie und Allgemeine Kartographie der TH München.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

nicht wesentlich verändert hat. Zur Überprüfung der Richtigkeit dieser Annahme wurde ein Vergleich mit den Tachymetrierungen in den Sommern 1959 und 1960 durchgeführt. Daraus ging hervor, daß die Konstanz der Oberflächenneigung vor allem am Rand des Gletschers auch über wenige Jahre nicht ideal erfüllt war, was auf die Unterschiede in der Ablation und auf Fehler bei der Tachymetrierung zurückzuführen ist. Diese bestehen vor allem darin, daß die Gletscheroberfläche nicht glatt, sondern von Wasserrinnen durchfurcht und mit kleinen Eishügeln besetzt ist. Daher ist die Oberfläche zur Bestimmung der Instrumentenhöhe und zur Aufstellung der Meßlatte nicht genau definiert. Es wird also jede Tachymetrierung auf der Gletscheroberfläche im Sommer einen Fehler von 10 bis 20 cm in der Bestimmung der Höhendifferenz aufweisen. Der mittlere Unterschied zwischen den Höhendifferenzen der Oberfläche längs des jährlichen Fließweges der Stangen aus den beiden Tachymetrierungen vom Sommer 1960 und 1963 für alle Stangen betrug 5 cm pro Jahr. Bei Verwendung des 1963 aufgenommenen Höhenschichtenplanes zur Bestimmung der Höhendifferenzen für alle Jahre von 1957 bis 1963 wurde also ein Fehler in Kauf genommen, der klein war gegenüber dem Fehler der Tachymetrierung selbst.

I. 3. 2. Bestimmung der Oberflächenneigung im Gebiet der Steinlinie 1

Im Sommer 1959 wurden von R. RUDOLPH die Standorte der Stangen des Pegelnetzes am Hintereisferner tachymetrisch bestimmt. Dabei ergab sich für die Gletscherneigung zwischen dem Hilfspunkt H und dem Pegel 6 (siehe Abb. 2) ein Winkel für die Neigung der Gletscheroberfläche von 6° 15'. Dieser Wert war für den Stein 8 der Linie 1 repräsentativ, da sein Fließweg in der Verbindungslinie der Punkte H und 6 lag. Da für die anderen Steine keine Werte der Gletscherneigung vorlagen, mußte dieser Winkel für das ganze Profil verwendet werden. Dadurch entstand in der Berechnung der Vertikalbewegung die größte Unsicherheit, weil eine einheitliche Oberflächenneigung für das ganze Profil sicher nicht den wahren Verhältnissen am Gletscher entspricht. In Tabelle 12 sind die Höhenunterschiede $\Delta h = \Delta l. \sin \alpha$ angegeben. Δl ist hier die Länge des Fließweges, α der Neigungswinkel der Gletscheroberfläche.

II. Die Vertikalbewegung

II. 1. Methoden zur Berechnung der Vertikalbewegung

II. 1. 1. Definition der Vertikalbewegung

Der Massenzuwachs im Nährgebiet bzw. der Massenverlust im Zehrgebiet eines Gletschers wird durch die Bewegung ganz oder teilweise kompensiert, da die Strömungslinien nicht parallel zur Oberfläche des Gletschers verlaufen. Im Nährgebiet treten die Stromlinien ins Gletscherinnere ein, im Zehrgebiet dagegen aus dem

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

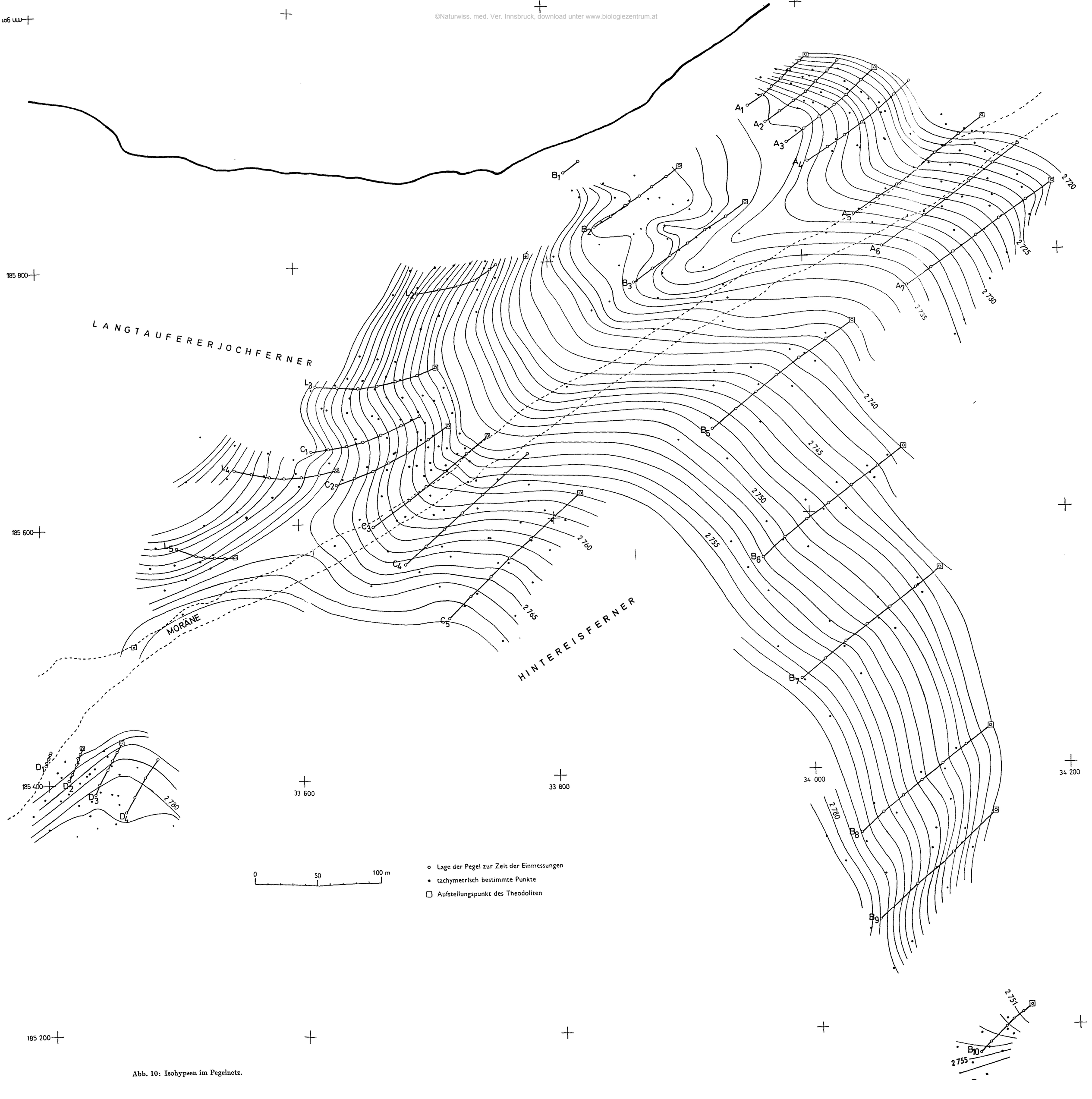

Abb. 10: Isohypsen im Pegelnetz.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Gletscher aus; daher wird der Gletscher im Zehrgebiet nicht um den Betrag der Nettoablation während der Ablationsperiode dünner, bzw. im Nährgebiet nicht um den Betrag der Nettoakkumulation dicker. Beim stationären Gletscher ist in jedem Punkt die vertikale Komponente der Bewegung gleich dem Betrag der Nettoakkumulation bzw. der Nettoablation während eines Haushaltsjahres. Diese vertikale Komponente der Bewegung wird hier kurz als Vertikalbewegung bezeichnet. Sie ist im Zehrgebiet für ein zur Oberfläche paralleles Koordinatensystem nach oben (positiv) gerichtet, im Nährgebiet nach unten (negativ).

II. 1. 2. Berechnung der Vertikalbewegung mit Hilfe der Messungen an Pegeln

Einmal im Jahr wurden die Höhenkoordinaten der Stangenspitzen bestimmt, so daß für den Zeitraum zwischen den Einmessungen die vertikale Komponente des Geschwindigkeitsvektors in einem horizontalen Koordinatensystem angegeben wer-

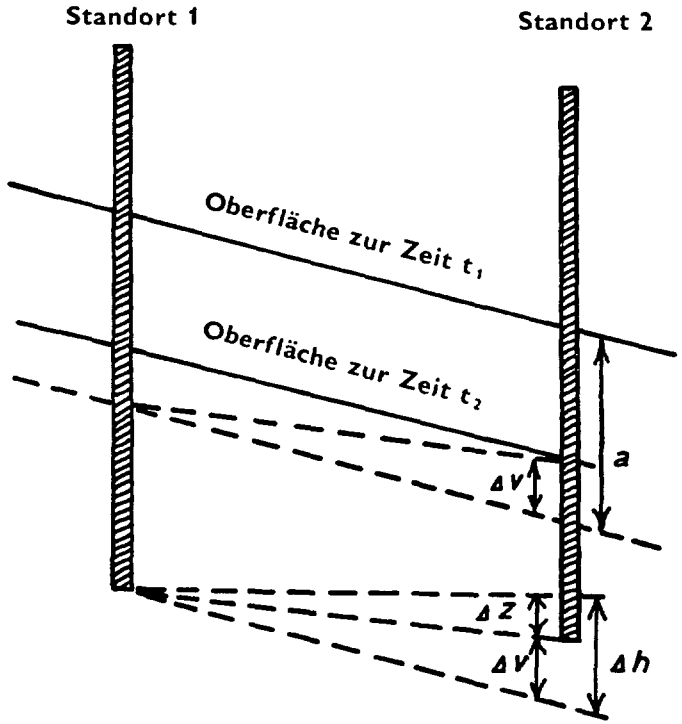

Abb. 11: Die Vertikalbewegung eines Pegels
a: Nettoablation in der Zeit zwischen den Einmessungen t_1 und t_2
Δz: gemessene Höhendifferenz des Stangenfußpunktes
Δh: Höhendifferenz zwischen den Oberflächenpunkten der Standorte 1 und 2 als Folge der Oberflächenneigung
Δv: Vertikalbewegung

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

den kann. Da die Stangen in das Eis eingebohrt waren, bewegten sie sich mit dem Gletscher und überwanden eine Höhendifferenz dadurch, daß die Gletscheroberfläche geneigt war. Diese Oberflächenneigung mußte bei der Berechnung der Vertikalbewegung berücksichtigt werden.

Da die Koordinaten der Stangenspitzen bestimmt wurden, können die Geschwindigkeitsvektoren des Eises angegeben werden, ohne daß die Nettoablation in die Berechnung der Vertikalbewegung eingeht. Aus Abb. 11 ist zu erkennen, daß die Vertikalbewegung als Summe der Höhendifferenz Δh und der gemessenen Höhendifferenz der Stangenspitze Δh bestimmt wird, da die Höhendifferenz Δz bei Verkleinerung der Seehöhe negativ gezählt wird:

$$v = \Delta h + \Delta z$$

Beide Komponenten Δh und Δz konnten für jede Stange des Pegelnetzes ermittelt (siehe 1. Kap.), und so die Vertikalbewegungen für die Zeitintervalle zwischen den Einmessungen berechnet werden (Tab. 8).

II. 1. 3. Berechnung der Vertikalbewegung mit Hilfe der Messungen bei der Steinlinie 1

Die Steine der Steinlinie 1 liegen auf der Gletscheroberfläche und bewegen sich mit dem Eis. Die Einmessung der Steine ergibt die Koordinaten der Oberflächenpunkte zur Zeit t_1 und t_2, so daß eine gemessene Höhendifferenz nicht nur durch die Vertikalbewegung und die Höhendifferenz infolge der Gletscherneigung, sondern auch durch die Nettoablation hervorgerufen wird.

Wie aus Abb. 12 abzulesen ist, kann die Vertikalbewegung Δv aus den gemessenen Größen nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\Delta v = a - (\Delta z - \Delta h)$$

Die Bestimmung der einzelnen Komponenten wurde im 1. Kapitel beschrieben. Die Werte sind in Tabelle 12 zusammengefaßt.

II. 1. 4. Berechnung der Vertikalbewegung mit Hilfe der Messungen bei den Steinlinien 3 und 6

Da die Steine der Linien 3 und 6 vor jeder Einmessung zurückgelegt werden, erhält man bei Bestimmung der Änderung ihrer Höhenkoordinaten die Änderung eines Querschnittes des Gletschers. Eine Höhenänderung der Lage dieser Steinlinien entsteht also nur durch die Vertikalbewegung und die Nettoablation.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

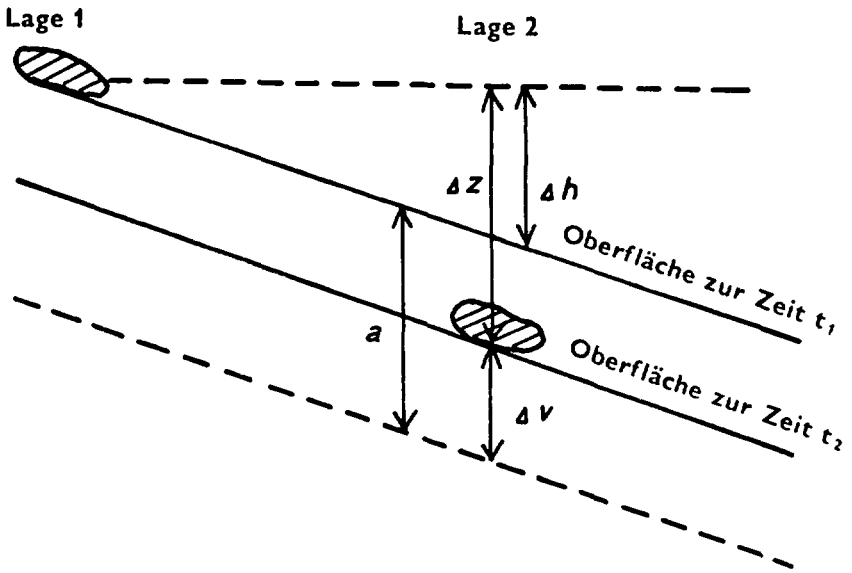

Abb. 12: Vertikalbewegung bei der Steinlinie 1
a: Nettoablation in der Zeit zwischen den Einmessungen t_1 und t_2
Δz: gemessene Höhendifferenz des Steines
Δh: Höhendifferenz zwischen den Oberflächenpunkten der Lagen 1 und 2 als Folge der Oberflächenneigung des Gletschers
Δv: Vertikalbewegung

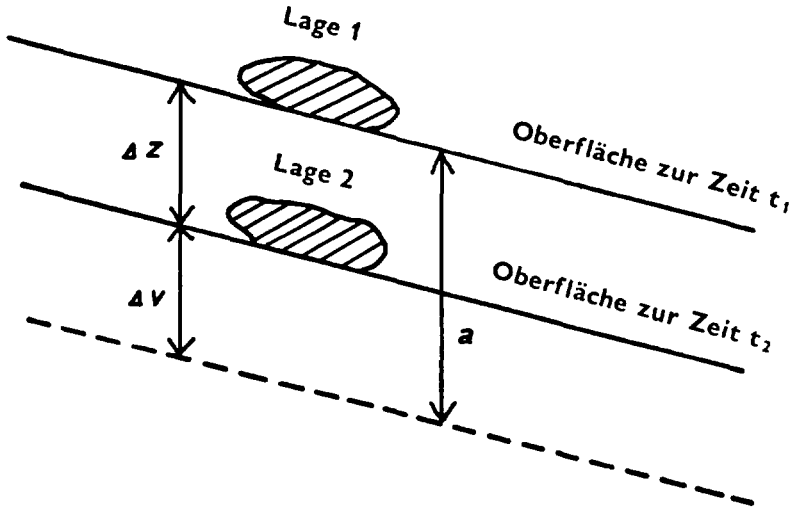

Abb. 13: Vertikalbewegung bei den Steinlinien 3 und 6
a: Nettoablation in der Zeit zwischen den Einmessungen t_1 und t_2
Δz: gemessene Höhendifferenz des Steines
Δv: Vertikalbewegung

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

In diesem Fall ist die Kenntnis der Oberflächenneigung nicht notwendig, die Vertikalbewegung ergibt sich als Differenz aus der Nettoablation a und der gemessenen Höhendifferenz Δz:

$$\Delta v = a - \Delta z$$

Nach dieser Gleichung wurde die Vertikalbewegung für die Steine der Linien 3 und 6 berechnet und in den Tabellen 13 und 14 zusammengestellt. Die Ermittlung der Glieder a und Δz ist aus Kap. 1 ersichtlich.

II. 2. Ergebnisse

II. 2. 1. Die Vertikalbewegung am Fließweg der Pegel

Nach der oben besprochenen Gleichung konnten für jedes Jahr von 1957 bis 1963 die Vertikalbewegungen der Stangen berechnet werden (Tab. 8). In den Abbildungen 14 bis 18 sind die Summenkurven der Vertikalbewegung Δv und des Fließweges d dargestellt, deren Werte den Tabellen 8 bzw. 5 entnommen wurden.

Bei der Berechnung der Vertikalbewegung geht die Oberflächenneigung des Gletschers längs des Fließweges der Pegel ein, deren Bestimmung mit Unsicherheiten verbunden war, da nur die Tachymetrierung vom Sommer 1963 zur Verfügung stand. In den Abbildungen 14 bis 18 ist zu erkennen, daß die Kurven für die einzelnen Stangen bis auf kleine Unregelmäßigkeiten gleichmäßig ansteigen. Daraus kann geschlossen werden, daß der 1963 aufgenommene Höhenschichtenplan (Abb. 10) auch für die vorhergehenden 5 Jahre von 1957 bis 1962 brauchbare Werte liefert.

Die Vertikalbewegung des Pegels $B3$ ist bis zum 18. 8. 1961 zu klein, was mit der Bildung einer Mulde am Fließweg des Pegels $B3$ erklärt werden kann. In den ersten 4 Jahren war die Gletscherneigung dort offenbar größer als aus dem Höhenschichtenplan von 1963 entnommen werden kann. Daß das abweichende Verhalten der Summenkurve des Pegels $B3$ in der Abbildung 15 auf die fehlerhafte Bestimmung der Höhendifferenz Δh zurückzuführen ist, geht aus der Darstellung der gemessenen Höhendifferenzen Δz gegen den Fließweg d (Abb. 4) hervor, die keinen unregelmäßigen Verlauf zeigt.

Die Vertikalbewegung jeder Stange blieb durch alle 6 Jahre der Meßperiode praktisch unverändert, obwohl der Massenhaushalt des Hintereisferners in diesem Zeitraum in den einzelnen Jahren sehr unterschiedlich war. Den stark negativen Werten in den Haushaltsjahren 1957/58 und 1958/59 müßte, wenn der Gletscher trägheitslos reagieren könnte, eine große Vertikalbewegung entsprechen, während dem fast ausgeglichenen Massenhaushalt von 1959/60 und dem schwach negativen von 1960/61 (Hoinkes und Rudolph 1962 *B*) eine Verkleinerung der Vertikalbewegung folgen müßte. Die Abbildungen 11 bis 15 zeigen keine systematische Änderung im Anstieg der Kurven in einem bestimmten Jahr für alle Stangen. Daraus kann geschlossen werden, daß sich die Bewegung des Gletschers auf geänderte Ernäh-

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

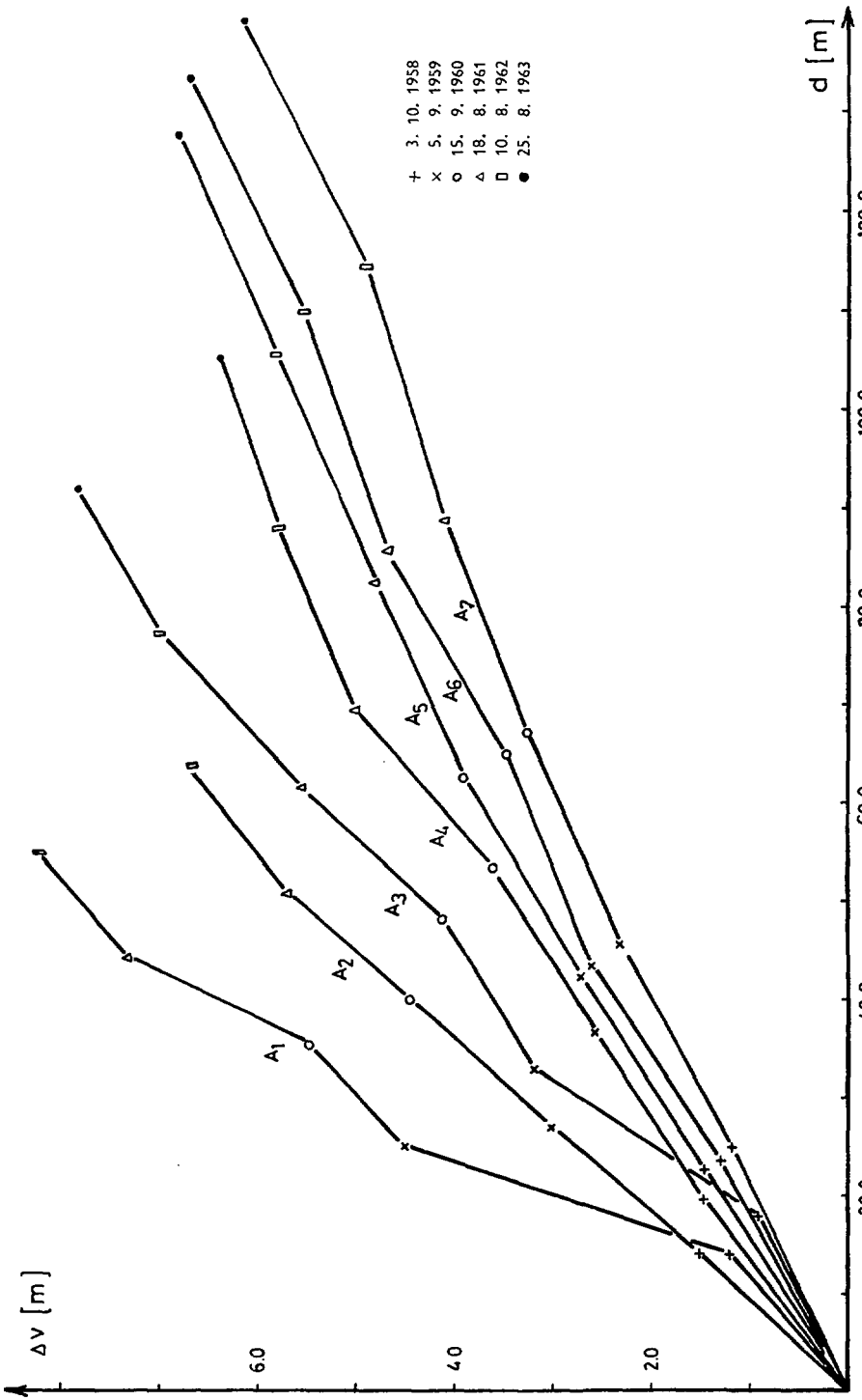

Abb. 14: Summendarstellung der Vertikalbewegungen Δv und der Fließwege d der Pegel des Profils A.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

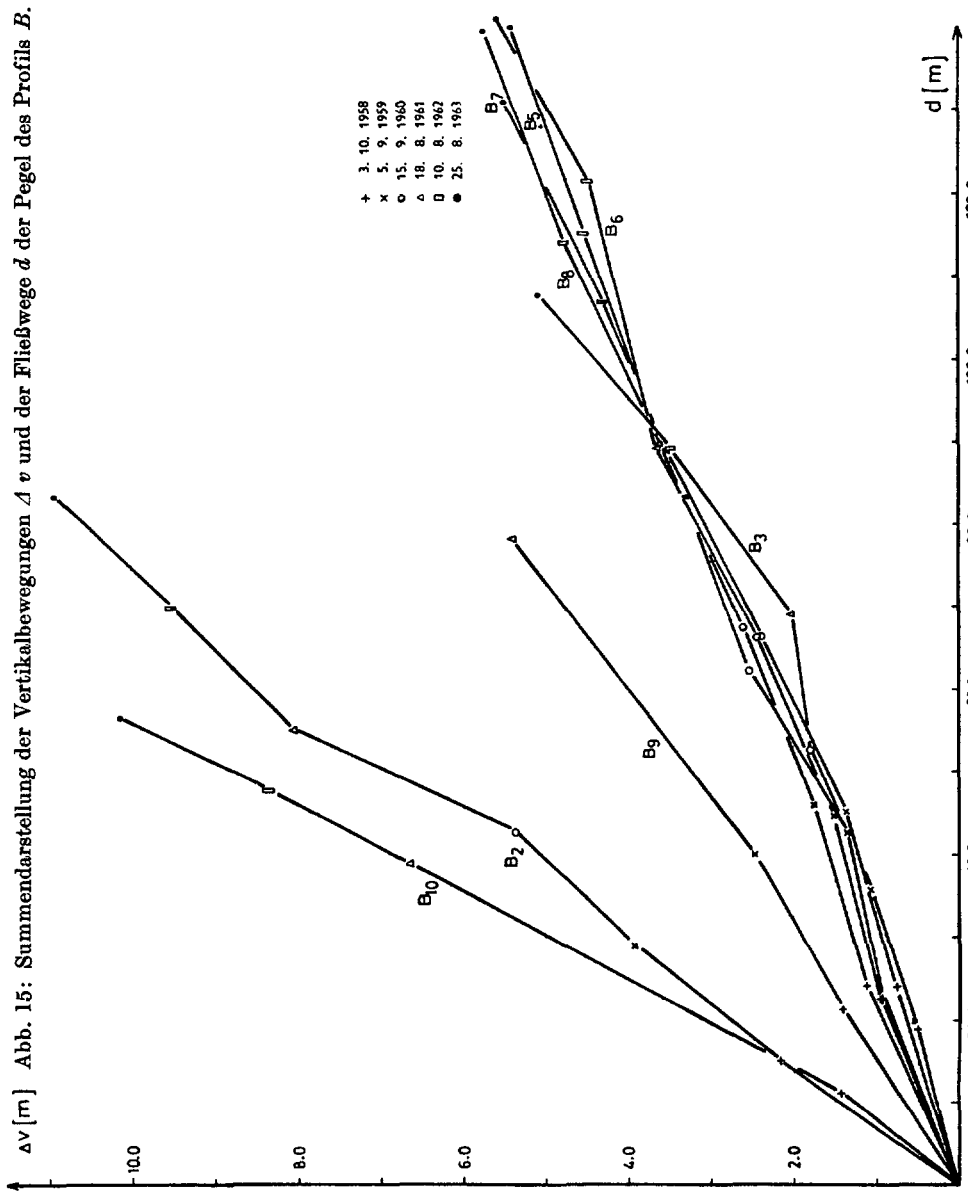

Abb. 15: Summendarstellung der Vertikalbewegungen Δv und der Fließwege d der Pegel des Profils B.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

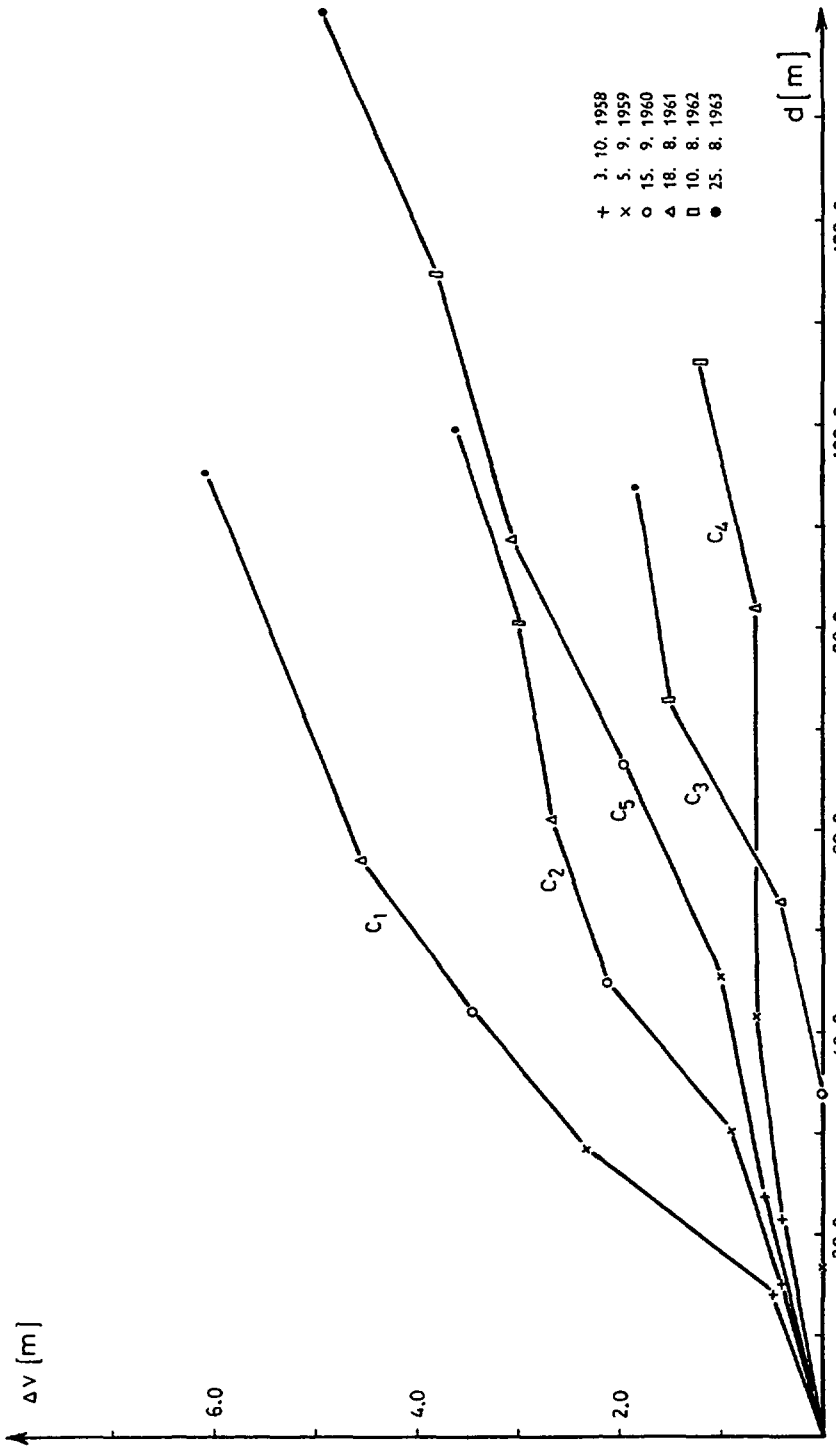

Abb. 16: Summendarstellung der Vertikalbewegungen Δv und der Fließwege d der Pegel des Profils C.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

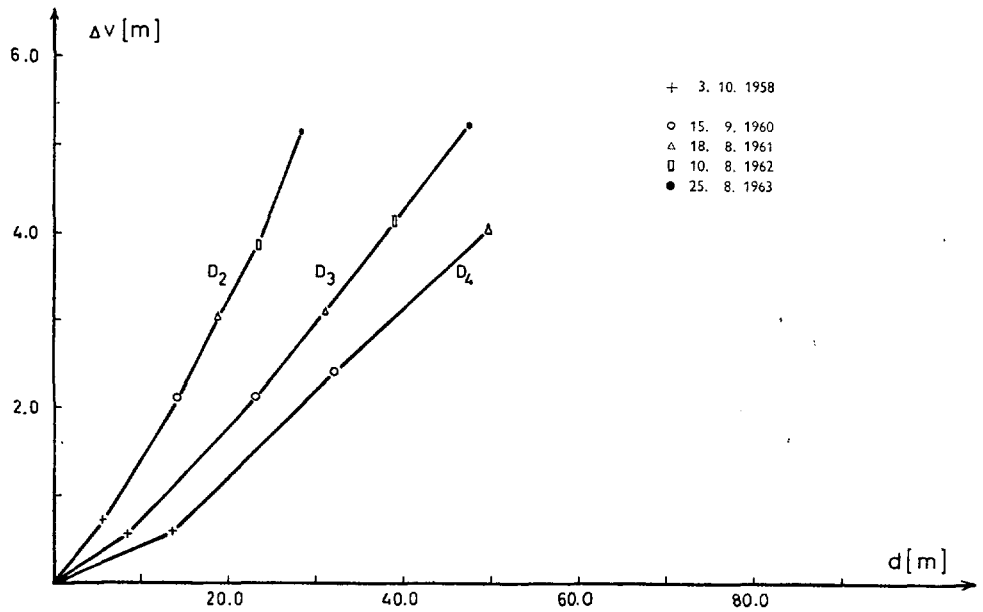

Abb. 17: Summendarstellung der Vertikalbewegungen Δv und der Fließwege d der Pegel des Profils D.

rungsbedingungen nur sehr langsam einstellen und auf kurzzeitige Schwankungen des Massenhaushaltes überhaupt nicht reagieren kann.

In jedem Profil ist der Anstieg der Kurven und damit die Vertikalbewegung in den Abbildungen 14 bis 18 für die einzelnen Pegel umso größer, je näher der Fließweg der Stange dem Gletscherrand lag. Dadurch wird bestätigt, daß eine große Nettoablation mit einer großen Vertikalbewegung verbunden ist, da die Nettoablation am Rand des Gletschers immer größer ist als in der Mitte, unabhängig von ihrem absoluten Betrag. Besonders deutlich tritt dies beim Profil B in Erscheinung. Die Stangen in der Nähe des Gletscherrandes $B2$, $B9$ und $B10$ zeigen stark unterschiedliche Vertikalbewegungen, während die Kurven der Pegel $B3$, $B5$, $B6$, $B7$ und $B8$ gebündelt sind, da ihre Entfernung vom Gletscherrand so groß war, daß kein nennenswerter Einfluß des eisfreien Geländes auf die Ablation mehr bestand.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

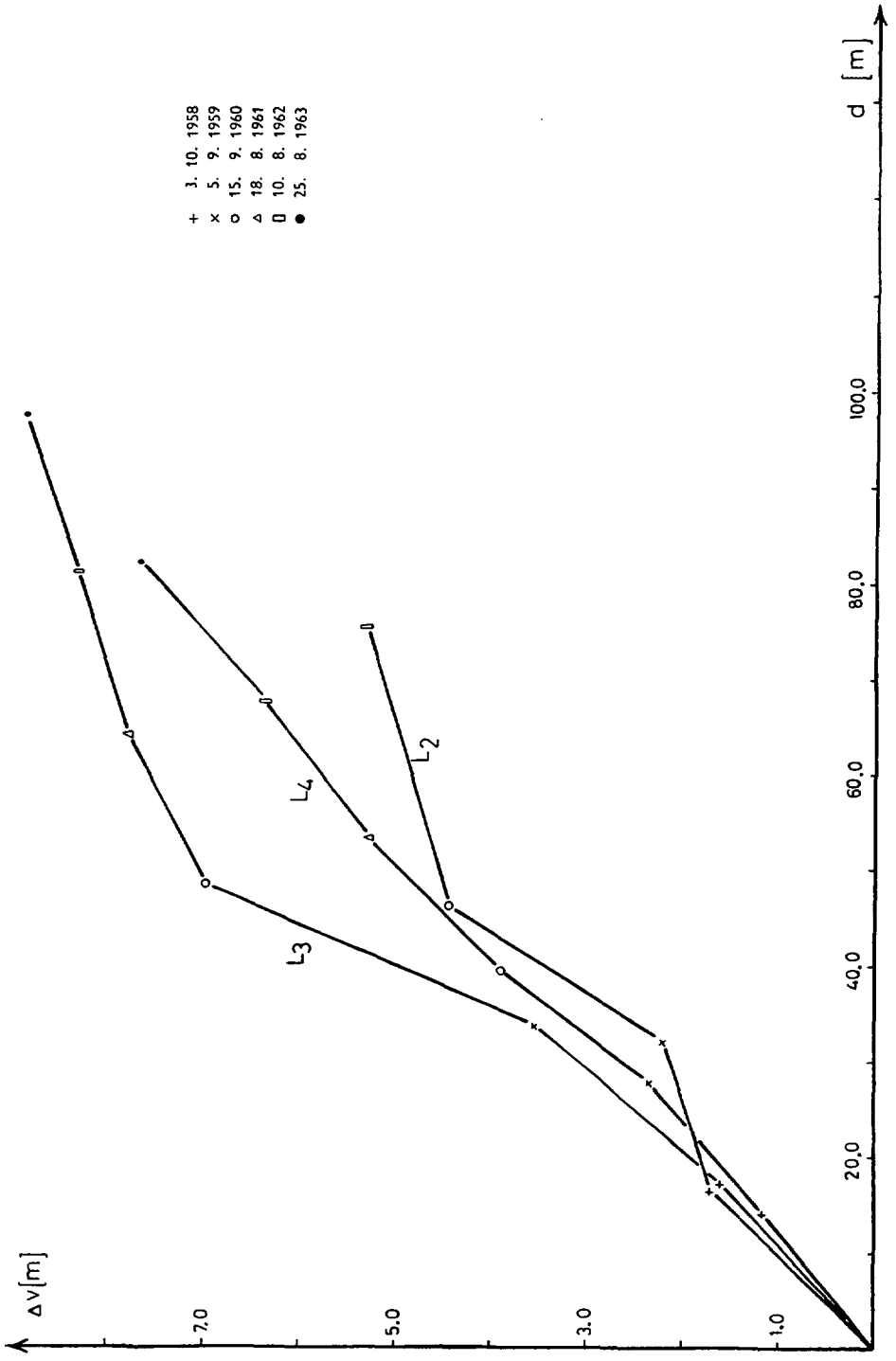

Abb. 18: Summendarstellung der Vertikalbewegungen Δv und der Fließwege d der Pegel des Profils L.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

II. 2. 2. Die Beziehung zwischen Vertikalbewegung und Nettoablation

Da die vertikale Komponente der Geschwindigkeit im Zehrgebiet der Ablation entgegen wirkt, und so der Gletscher seine Oberfläche zu erhalten sucht, kann ein enger Zusammenhang zwischen jährlicher Vertikalbewegung und Nettoablation gefolgert werden. Einer großen Nettoablation sollte eine große Vertikalbewegung entsprechen.

Bei einem stationären Gletscher muß die Darstellung des Zusammenhanges mit der Vertikalbewegung als Ordinate und der Nettoablation als Abszisse in einem karthesischen Koordinatensystem eine Gerade sein, die durch den Ursprung geht und unter 45° zur positiven Abszissenachse geneigt ist. In jedem Punkt muß die Vertikalbewegung gleich der Nettoablation sein, damit die Oberfläche stationär bleibt.

Wenn sich die klimatischen Bedingungen so ändern, daß der Massenhaushalt durch viele Jahre hindurch negativ ist, dann überwiegt die Nettoablation die Vertikalbewegung im Zehrgebiet, man stellt einen Rückzug des Gletschers fest. Die graphische Darstellung der Abhängigkeit der Vertikalbewegung von der Nettoablation ergibt dann eine Gerade, deren Anstieg kleiner als 1 ist. Je kleiner der Winkel zwischen der Geraden und der x-Achse ist, desto weiter ist das Zehrgebiet des Gletschers vom stationären Zustand entfernt.

Mit Hilfe der im I. Kapitel angegebenen Meßwerte konnte dieser Zusammenhang für die Zunge des Hintereisferners von der Einmündung des Langtaufererjochferners bis zum Zungenende untersucht werden. Da die Werte bei den Pegeln nur ein kleines Gebiet der Zunge erfaßten, und daher die Nettoablation und die Vertikalbewegung nur in einem kleinen Bereich schwankten, war es sehr wertvoll, daß die Meßwerte an den Steinlinien in die Betrachtung einbezogen werden konnten.

Zur Berechnung der Vertikalbewegung der Steinlinien mußten die Werte von zwei voneinander unabhängig ausgeführten Meßprogrammen verwendet werden, die innerhalb der Meßperiode im Pegelnetz von 1957 bis 1963 nur im Sommer 1957 und im Sommer 1959 zugleich verfügbar waren. Das Netz der Ablationspegel wurde im Herbst 1959 aufgelassen und erst im Frühjahr 1962 wieder errichtet. Im Sommer 1958 und 1962 konnte die Steinlinie 6 zwar zurückgelegt, aber wegen Einbruch von schlechtem Wetter nicht vermessen werden. Es mußte daher die Untersuchung der Beziehung zwischen der Vertikalbewegung und der Nettoablation auf den Zeitraum von zwei Jahren (1957 bis 1959) beschränkt werden. Da, wie gezeigt werden konnte, sich die Vertikalbewegung auf den Fließwegen der einzelnen Stangen in den sechs Jahren praktisch nicht verändert hat, ist der Mittelwert der Vertikalbewegung dieser zwei Jahre sicherlich repräsentativ für die ganze Meßperiode.

Um die Werte bei den Stangen und Steinlinien vergleichen zu können, wurden die Vertikalbewegungen auf ein Zeitintervall von 365 Tagen umgerechnet, wobei angenommen wurde, daß keine jahreszeitlichen Schwankungen vorhanden waren (Tab. 9, 12, 13 und 14). Diese Werte für die Vertikalbewegungen wurden für jeden Standpunkt der Stangen und Steine gegen die mittlere Nettoablation der beiden

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

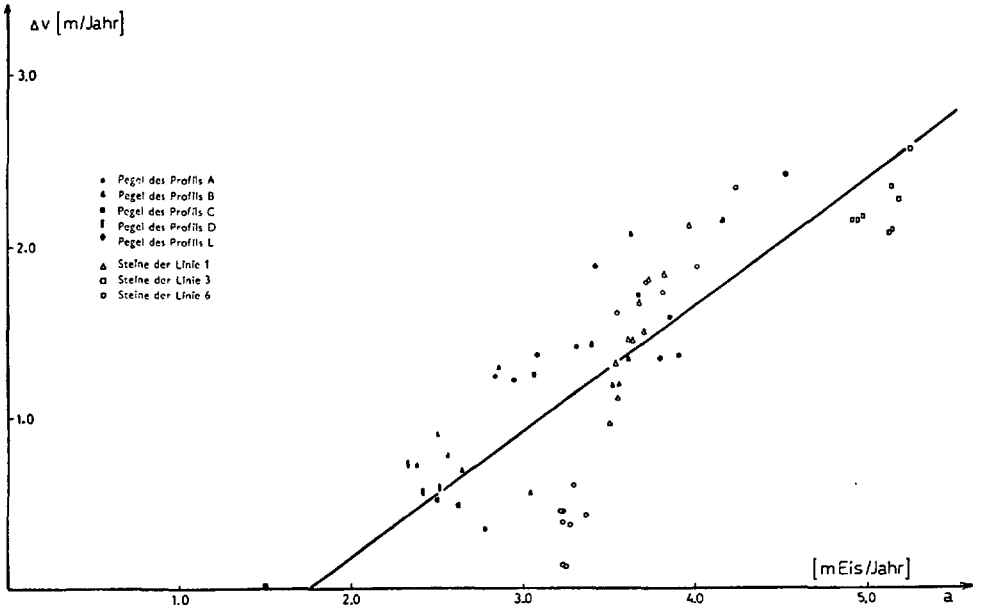

Abb. 19: Beziehung zwischen der Ablation a mEis/Jahr und der Vertikalbewegung Δv m/Jahr auf der Zunge des Hintereisferners für die Periode 1957 bis 1959.

Haushaltsjahre in ein Koordinatensystem eingetragen (Abb. 19). Die Punkte streuen um eine Gerade, deren Anstieg kleiner als 45° ist, wie es bei dem seit Jahren im Rückzug begriffenen Hintereisferner zu erwarten ist. Die Streuung um diese Gerade hat die gleiche Größenordnung wie der Fehler in der Bestimmung der Höhendifferenzen Δh (siehe I. Kapitel).

Der Korrelationskoeffizient zwischen der Vertikalbewegung und der Nettoablation beträgt 0,82. Die beste Gerade durch die Punkte ergibt die folgende Gleichung:

$$\Delta v = 0{,}73\, a - 1{,}28,$$

wobei für Δv die Dimension [m/Jahr], für a [mEis/Jahr] einzusetzen ist.

Aus den Abbildungen 14 bis 18 geht hervor, daß der Gletscher auf die kurzzeitigen Schwankungen im Massenhaushalt von Jahr zu Jahr in bezug auf die Größe seiner Vertikalbewegung nicht trägheitslos reagieren kann. Dies bedeutet für die Gleichung, daß sich das konstante Glied —1,28 von Jahr zu Jahr ändert, die Gerade also in Jahren mit kleiner Nettoablation nach links, in solchen mit großer Nettoablation nach rechts parallelverschoben wird.

Dieses Ergebnis wurde mit den Werten verglichen, die M. MEIER und W. V. TANGBORN am South Cascade Glacier, Washington, fanden (Meier und Tangborn 1965). Abb. 20 zeigt die Beziehung der Vertikalbewegung mit der Nettoablation am Hintereisferner für den Zeitraum 1957 bis 1959. Die eingetragenen Punkte sind die Gruppenmittel der Vertikalbewegung für Stufen der Nettoablation von 0,4 (m Eis/

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

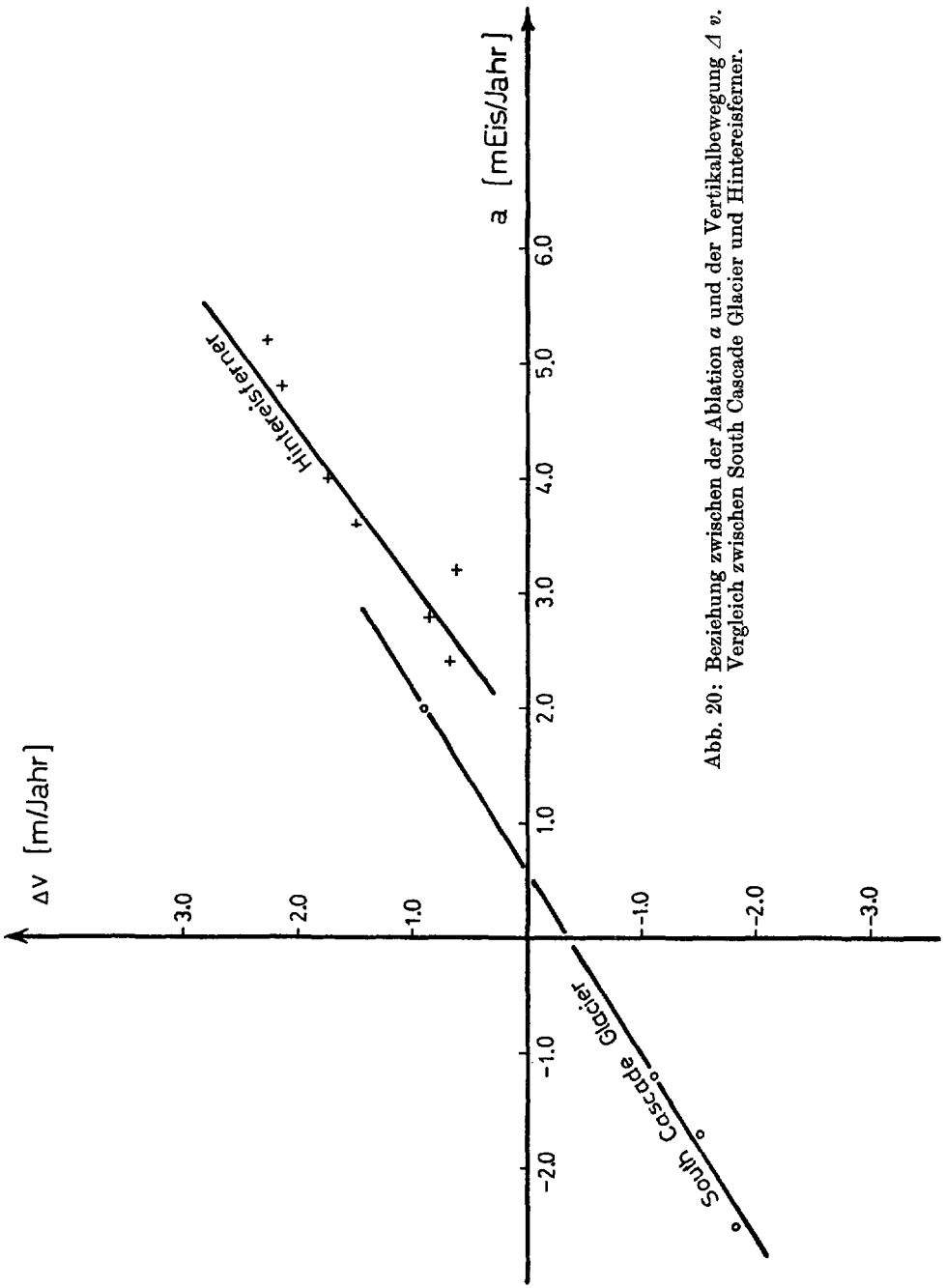

Abb. 20: Beziehung zwischen der Ablation a und der Vertikalbewegung Δv. Vergleich zwischen South Cascade Glacier und Hintereisferner.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Jahr), sie ergeben eine Gerade, die der durch die einzelnen Meßpunkte gezogenen Geraden der Abb. 19 entspricht. Die Werte am South Cascade Glacier wurden im Haushaltsjahr 1961/62 gemessen und geben Vertikalbewegung und Nettoablation bzw. Nettoakkumulation von vier Punkten eines Längsprofils des Gletschers. Da die Altschneelinie in diesem Haushaltsjahr relativ nahe dem Gletscherende blieb, liegen drei Punkte im Gebiet mit Nettoakkumulation und negativer Vertikalbewegung. Die vier Punkte des Längsprofils ergeben, in das Diagramm (Abb. 20) eingetragen, eine Gerade, die einen kleinen Winkel mit der für den Hintereisferner ermittelten einschließt. Der South Cascade Glacier hatte wie der Hintereisferner während der Zeit von 1957 bis 1962 im Mittel negativen Massenhaushalt. Dies drückt sich in der Abb. 20 dadurch aus, daß die Gerade unter einem Winkel von 32^0 (also kleiner als 45^0) zur x-Achse geneigt ist. Im Haushaltsjahr 1961/62 war der Massenhaushalt des South Cascade Glacier praktisch ausgeglichen, während der des Hintereisferners in der Periode 1957 bis 1959 stark negativ war. Dies erklärt die gegenseitige Parallelverschiebung der beiden Geraden.

II. 2. 3. Die Verteilung der Vertikalbewegung auf der Zunge

Da die Pegel und Steinlinien auf einem großen Teil der Zunge des Hintereisferners verteilt waren, war es möglich, für das Gebiet von der Einmündung des Langtaufererjochferners bis zum Zungenende die Verteilung der Vertikalbewegung zu untersuchen.

Mit Hilfe der Werte aus den Tabellen 9, 12, 13 und 14 konnten Isolinien der jährlichen Vertikalbewegung für die Zunge des Hintereisferners gezeichnet werden (Abb. 21). Es ergibt sich ein geschlossenes, nach theoretischen Überlegungen zu erwartendes Bild. Die Vertikalbewegung nimmt gegen den Rand und gegen das Zungenende des Gletschers hin zu, wo auch die Nettoablation höhere Werte annimmt. In der Mitte ist sie relativ klein, was sich auch in der Form der Isolinien beim einmündenden Langtaufererjochferner zeigt. Es konnte hier keine Asymmetrie in der Verteilung der Vertikalbewegung in bezug auf die Längsachse des Gletschers beobachtet werden, wie sie am Storglaciären auftrat (SCHYTT and CEDERSTRAND 1963). Das ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß am Hintereisferner nur der Mittelwert der Vertikalbewegung für zwei Jahre (1957 bis 1959) berechnet werden konnte, wobei sich die Unterschiede von Jahr zu Jahr ausgleichen konnten. Ein ähnlicher Verlauf der Isolinien der Vertikalbewegung (Abb. 21) wurde am Saskatchewan Glacier in Alberta, Canada, gefunden (M. Meier 1960).

Durch Planimetrieren der Isolinien für das auf Abb. 21 dargestellte, durch Meßpunkte belegte Gebiet, wurde eine mittlere Vertikalbewegung von 1,50 m/Jahr ermittelt. Das bedeutet, daß bei der Fläche dieses Zungengebietes von 2,0 km^2 jährlich eine Eismenge von $3{,}0 \times 10^6$ m^3 durch Bewegung aufstieg und damit die Nettoablation teilweise kompensierte. Aus der Planimetrierung der Isolinien der Nettoablation (LANG 1962, HOINKES und LANG 1963) folgte für die beiden Haus-

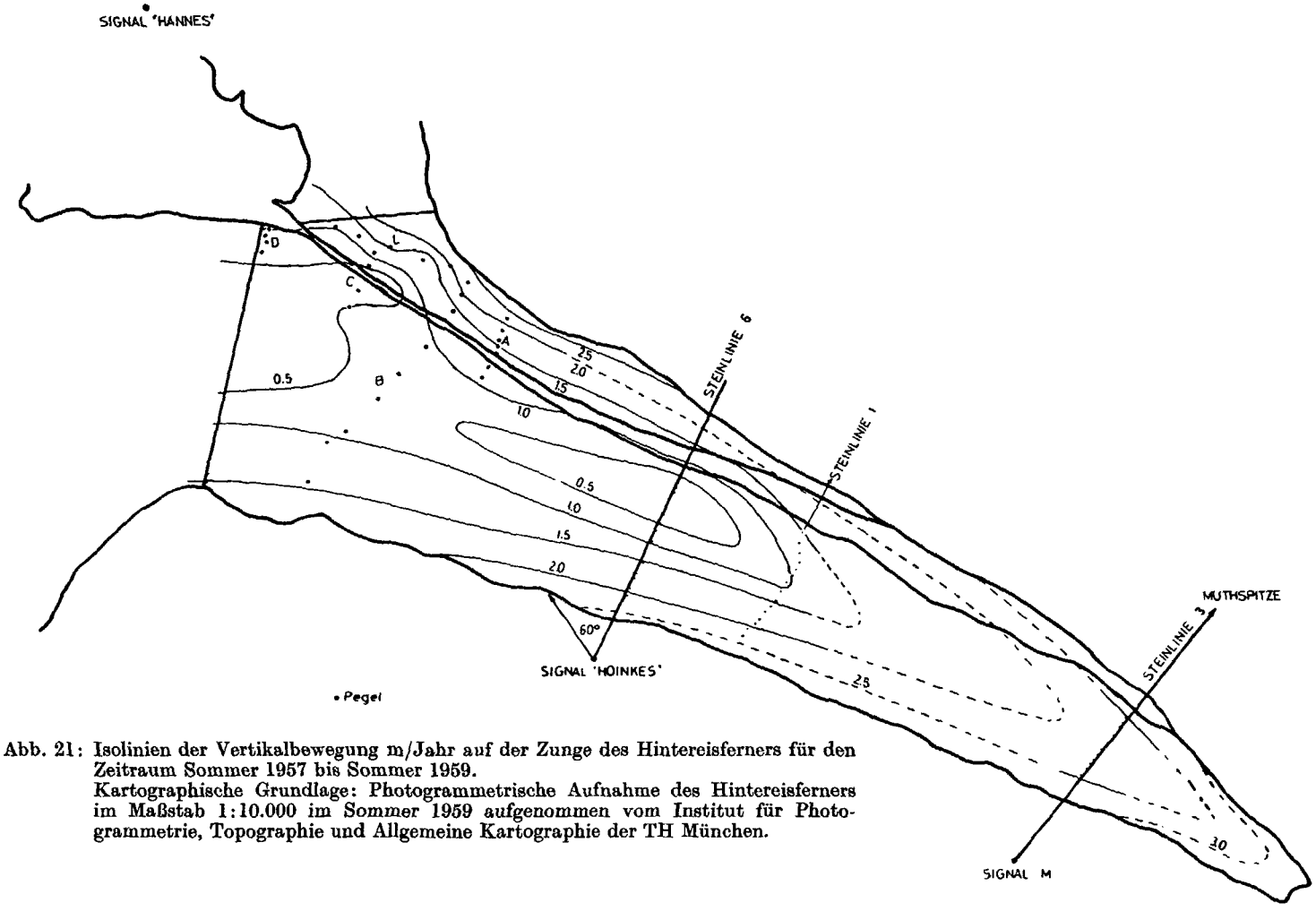

Abb. 21: Isolinien der Vertikalbewegung m/Jahr auf der Zunge des Hintereisferners für den Zeitraum Sommer 1957 bis Sommer 1959.
Kartographische Grundlage: Photogrammetrische Aufnahme des Hintereisferners im Maßstab 1:10.000 im Sommer 1959 aufgenommen vom Institut für Photogrammetrie, Topographie und Allgemeine Kartographie der TH München.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

haltsjahre 1957/58 und 1958/59 eine mittlere Nettoablation von 3,75 m/Jahr. Das ergibt für die gleiche Fläche auf der Zunge von 2,0 km² eine mittlere Abschmelzung von $7{,}6 \times 10^6$ m³Eis/Jahr. Es wurden somit 40% des durch die Ablation von der Zunge entfernten Eises durch Bewegung vom Nährgebiet des Gletschers ersetzt. Daraus geht die große Bedeutung der Vertikalbewegung für den Massenhaushalt der Gletscherzunge hervor, der aus der Größe der Nettoablation und der Vertikalbewegung berechnet werden kann (SCHIMPP 1957, 1958).

Diese Eismenge von $3{,}0 \times 10^6$ m³, die im Mittel pro Jahr im Zungengebiet aufstieg, mußte an der Eintrittstelle in das betrachtete Gebiet durch den Gletscherquerschnitt fließen. O. FÖRTSCH und H. VIDAL haben im Jahr 1954 am Hintereisferner seismische Dickenmessungen ausgeführt (FÖRTSCH und VIDAL 1956). Aus ihrer Arbeit geht hervor, daß die Querschnittsfläche des Hintereisferners beim Zusammenfluß mit dem Langtaufererjochferner ungefähr $15{,}25 \times 10^4$ m² beträgt, die des Langtaufererjochferners $8{,}0 \times 10^4$ m². Es flossen daher $3{,}0 \times 10^6$ m³Eis/Jahr durch eine Fläche von $23{,}25 \times 10^4$ m². Daraus folgt für die mittlere Geschwindigkeit ein Wert von 13 m/Jahr. Dieselbe Überlegung auf den Teil der Zunge, der nur der Zunge des Hintereisferners entspricht, angewandt, ergibt bei der Querschnittsfläche von $15{,}25 \times 10^4$ m² eine mittlere Geschwindigkeit von ungefähr 17 m/Jahr, das sind 77% der Oberflächengeschwindigkeit von 22 m/Jahr in diesem Profil. Dieses Ergebnis stimmt sehr gut mit den Werten überein, die aus den wenigen bisher auf Gletschern gemessenen Vertikalverteilungen der Geschwindigkeit gewonnen wurden: am Blue Glacier, Washington, am Salmon Glacier, British Columbia, (MELLOR 1964) und am Saskatchswan Glacier, Canada, (MEIER 1960) beträgt die mittlere Geschwindigkeit des gemessenen Vertikalprofils 76 bis 77% der Oberflächengeschwindigkeit. Für den Langtaufererjochferner lieferte eine analoge Abschätzung keine damit übereinstimmenden Werte. Das dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die Flächen der Querschnitte des Langtaufererjochferners im Gebiet des Zusammenflusses mit dem Hintereisferner stark variieren und zu wenig bekannt sind.

III. Die Hauptdilatationen

III. 1. Theorie zur Berechnung der Hauptdilatationen

Wir betrachten einen Punkt mit den Koordinaten x, y und z, der durch eine Kraft eine Verrückung erfahren soll. Die neuen Koordinaten seien:

$$\begin{aligned} x_1 &= x+\xi \\ y_1 &= y+\eta \\ z_1 &= z+\zeta \end{aligned} \tag{1}$$

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Als Vergleichspunkt sei der Koordinatenanfangspunkt gewählt, dessen Verschiebung durch ξ_0, η_0 und ζ_0 gegeben sei. Nach dem Satz von TAYLOR folgt:

$$\xi = \xi_0 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial x}\right) x + \left(\frac{\partial \xi}{\partial y}\right) y + \left(\frac{\partial \xi}{\partial z}\right) z + \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Gl. höherer Ord.}$$

$$\eta = \eta_0 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial x}\right) x + \left(\frac{\partial \eta}{\partial y}\right) y + \left(\frac{\partial \eta}{\partial z}\right) z + \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Gl. höherer Ord.} \qquad (2)$$

$$\zeta = \zeta_0 + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x}\right) x + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y}\right) y + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial z}\right) z + \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ Gl. höherer Ord.}$$

Im allgemeinen sind die Komponenten der Verschiebung komplizierte Funktionen der Koordinaten x, y und z. Wenn man nur einen kleinen Bereich des Körpers betrachtet, d. h. daß die Koordinaten x, y, und z klein bleiben, so können die Glieder höherer Ordnung vernachlässigt werden, und die Größen ξ, η, ζ sind lineare Funktionen der Koordinaten x, y und z. Man spricht dann von einer linearen Deformation.

Wir führen folgende Abkürzungen ein:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \xi}{\partial x} &= a_{11} & \frac{\partial \xi}{\partial y} &= a_{12} & \frac{\partial \xi}{\partial z} &= a_{13} \\ \frac{\partial \eta}{\partial x} &= a_{21} & \frac{\partial \eta}{\partial y} &= a_{22} & \frac{\partial \eta}{\partial z} &= a_{23} \\ \frac{\partial \zeta}{\partial x} &= a_{31} & \frac{\partial \zeta}{\partial y} &= a_{32} & \frac{\partial \zeta}{\partial z} &= a_{33} \end{aligned} \qquad (3)$$

Zerlegen wir zunächst formal die gemischten Glieder:

$$a_{ik} = \frac{a_{ik} - a_{ki}}{2} + \frac{a_{ik} + a_{ki}}{2} \qquad (4)$$

so erhalten wir:

$$\begin{aligned} \xi &= \xi_0 + o.x + \frac{a_{12}-a_{21}}{2} y + \frac{a_{13}-a_{31}}{2} z + a_{11} x + \frac{a_{12}+a_{21}}{2} y + \frac{a_{13}+a_{31}}{2} z \\ \eta &= \eta_0 + \frac{a_{21}-a_{12}}{2} x + o.y + \frac{a_{23}-a_{32}}{2} z + \frac{a_{21}+a_{12}}{2} x + a_{22} y + \frac{a_{23}+a_{32}}{2} z \\ \zeta &= \zeta_6 + \frac{a_{31}-a_{13}}{2} x + \frac{a_{13}-a_{31}}{2} y + o.z + \frac{a_{13}+a_{31}}{2} x + \frac{a_{32}+a_{23}}{2} y + a_{33} z \end{aligned} \qquad (5)$$

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2$$

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Diese Gleichungen zeigen, daß der Verschiebungsvektor aus drei Teilverschiebungen besteht:

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2 \tag{6}$$

Der Vektor σ_0 hat die Komponenten ξ_0, ζ_0 und η_0 und gibt eine Translation, die der Körper wie ein starrer Körper ausführt. Die Größen ξ_0, η_0 und ζ_0 sind also für die eigentliche Deformation bedeutungslos, wir können davon absehen, oder, anders formuliert, wir betrachten die Vorgänge in einem Koordinatensystem, das diese allgemeine Translation mitmacht.

Der zweite Teil ist gegeben durch die Komponenten

$$\sigma_1 = \begin{cases} \xi_1 = \quad o. \quad x + \dfrac{a_{12}-a_{21}}{2}\, y + \dfrac{a_{13}-a_{31}}{2}\, z \\ \eta_1 = \dfrac{a_{21}-a_{12}}{2}\, x + \quad o. \quad y + \dfrac{a_{23}-a_{32}}{2}\, z \\ \zeta_1 = \dfrac{a_{31}-a_{13}}{2}\, x + \dfrac{a_{32}-a_{23}}{2}\, y + \quad o. \quad z \end{cases} \tag{7}$$

Man kann zeigen, daß eine solche Deformation, die durch ein antisymmetrisches Koeffizientenschema charakterisiert ist, einer reinen Drehung entspricht.

Die zwei ersten Glieder σ_0 und σ_1 sind also keine eigentlichen Deformationen. σ_2 habe die Komponenten ξ_2, η_2 und ζ_2, die nach Einführung einer neuen Abkürzung in den Gleichungen (5) die folgende Form annehmen:

$$\sigma_2 = \begin{cases} \xi_2 = \varepsilon_{xx}\, x + \varepsilon_{xy}\, y + \varepsilon_{xz}\, z \\ \eta_2 = \varepsilon_{yx}\, x + \varepsilon_{yy}\, y + \varepsilon_{yz}\, z \\ \zeta_2 = \varepsilon_{zx}\, x + \varepsilon_{zy}\, y + \varepsilon_{zz}\, z \end{cases} \tag{8}$$

Für die Koeffizienten ε_{ik} folgt aus den vorhergehenden Gleichungen:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{\partial \xi}{\partial x} & \varepsilon_{xy} &= \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial x}\right) & \varepsilon_{xz} &= \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \xi}{\partial z} + \frac{\partial \zeta}{\partial x}\right) \\ \varepsilon_{yx} &= \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial y}\right) & \varepsilon_{yy} &= \frac{\partial \eta}{\partial y} & \varepsilon_{yz} &= \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \eta}{\partial z} + \frac{\partial \zeta}{\partial y}\right) \\ \varepsilon_{zx} &= \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial z}\right) & \varepsilon_{zy} &= \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial z}\right) & \varepsilon_{zz} &= \frac{\partial \zeta}{\partial z} \end{aligned} \tag{9}$$

Da $\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx}$, $\varepsilon_{xz} = \varepsilon_{zx}$ und $\varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy}$ ist, ist das dritte Glied σ_2 ein symmetrischer Tensor, der eine Dehnung nach drei zueinander senkrechten Achsen beschreibt.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Um dies verständlicher zu machen, untersuchen wir einen einfachen Fall einer reinen Dehnung, d. h., daß die Entfernungen aller Punkte von einer Ebene, die auf eine bevorzugte Richtung senkrecht steht, sich im gleichen Verhältnis verlängern. Legt man die x-Achse des neuen Koordinatensystems X, Y und Z in die bevorzugte Richtung, so ergibt sich für die Verschiebungen Ξ_1, H_1 und Z_1 parallel zu den neuen Koordinatenachsen:

$$\Xi_1 = \varepsilon_1 X \qquad H_1 = Z_1 = O \tag{10}$$

Wirkt eine zweite Dehnung, deren Koeffizient ε_2 ist, in Richtung der neuen y-Achse und eine dritte mit dem Koeffizienten ε_3 in Richtung der neuen z-Achse, so ergibt die Zusammensetzung der drei Dehnungen eine allgemeine Dehnung nach drei zueinander senkrechten Achsen, die durch folgende Gleichungen dargestellt wird:

$$\begin{aligned} \Xi &= \varepsilon_1 X + o.Y + o.Z \\ H &= o.X + \varepsilon_2 Y + o.Z \\ Z &= o.X + o.Y + \varepsilon_3 Z \end{aligned} \tag{11}$$

Ein Punkt mit dem Koordinaten X, Y und Z hat nach der Deformation die Koordinaten

$$\begin{aligned} X_1 &= X + \Xi = (1 + \varepsilon_1)\, X \\ Y_1 &= Y + H = (1 + \varepsilon_2)\, Y \\ Z_1 &= Z + Z = (1 + \varepsilon_3)\, Z \end{aligned} \tag{12}$$

Um diese Deformation allgemein darstellen zu können, kehren wir von dem speziell gewählten Koordinatensystem (X, Y, Z) zurück zum alten (x, y, z). Nennt man die Kosinusse der Winkel, die die X-Achse mit den Achsen des alten Systems einschließen α_1, α_2 und α_3, die der Y-Achse und der Z-Achse entsprechend β_1, β_2 und β_3 bzw. γ_1, γ_2 und γ_3, so lauten die Transformationsformeln für diese Koordinatentransformation:

$$\begin{aligned} X &= \alpha_1 x + \alpha_2 y + \alpha_3 z & \Xi &= \alpha_1 \xi + \alpha_2 \eta + \alpha_3 \zeta \\ Y &= \beta_1 x + \beta_2 y + \beta_3 z & H &= \beta_1 \xi + \beta_2 \eta + \beta_3 \zeta \\ Z &= \gamma_1 x + \gamma_2 y + \gamma_3 z & Z &= \gamma_1 \xi + \gamma_2 \eta + \gamma_3 \zeta \end{aligned} \tag{13}$$

Setzt man in die Gleichungen (11) ein, so ergibt sich:

$$\begin{aligned} \alpha_1 \xi + \alpha_2 \eta + \alpha_3 \zeta &= \varepsilon_1 (\alpha_1 x + \alpha_2 y + \alpha_3 z) \\ \beta_1 \xi + \beta_2 \eta + \beta_3 \zeta &= \varepsilon_2 (\beta_1 x + \beta_2 y + \beta_3 z) \\ \gamma_1 \xi + \gamma_2 \eta + \gamma_3 \zeta &= \varepsilon_3 (\gamma_1 x + \gamma_2 y + \gamma_3 z) \end{aligned} \tag{14}$$

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

oder nach den Größen ξ, η und ζ aufgelöst:

$$\begin{aligned} \xi &= fx + ny + mz \\ \eta &= nx + gy + lz \\ \zeta &= mx + ly + hz \end{aligned} \tag{15}$$

Diese Gleichungen beschreiben also eine allgemeine Dehnung, wobei die Koeffizienten f, n, m, g, l und h leicht zu bestimmende Kombinationen der Richtungskosinusse der Hauptdilatationsachsen mit den Koordinatenachsen α_1, α_2, α_3, β_1, β_2, β_3 γ_1, γ_2 und γ_3, und den Hauptdilatationen ε_1, ε_2 und ε_3 sind. Da die Gleichungen (15) mit den Gleichungen (8) identisch sind, ist gezeigt, daß der Tensor σ_2 eine Dehnung beschreibt.

Um die Bedeutung der Hauptdilatationen zu veranschaulichen, betrachten wir einen kugelförmigen Körper mit dem Zentrum im Ursprung und dem Radius R. Die Gleichung der Oberfläche lautet:

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \tag{16}$$

Diese Kugel werde einer allgemeinen Dehnung unterworfen, nach der die Koordinaten eines Oberflächenpunktes P (x, y, z) übergehen in:

$$\begin{aligned} x_1 &= x + \xi \\ y_1 &= y + \eta \\ z_1 &= z + \zeta \end{aligned} \tag{17}$$

und die Entfernung jedes Punktes P sich um eine Strecke $s = f(x, y, z)$ vergrößert.

Die Gleichung der Oberfläche nimmt jetzt die Form an:

$$x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 = (R + s)^2 \tag{18}$$

Unter der Annahme, daß die Verschiebungen ξ, η, und ζ klein seien gegenüber R, geht die Gleichung über in:

$$x^2 + 2x\xi + y^2 + 2y\eta + z^2 + 2z\zeta = R^2 + 2Rs \tag{19}$$

oder:

$$s = \frac{1}{R}(x\xi + y\eta + z\zeta) \tag{20}$$

Die Verrückungen ξ, η und ζ können nach den Gleichungen (8) als Linearkombinationen der Koordinaten x, y und z ausgedrückt werden und daraus erhält man für s den Ausdruck:

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

$$s = \frac{1}{R}\,[\varepsilon_{xx}x^2+\varepsilon_{yy}y^2+\varepsilon_{zz}z^2+2\varepsilon_{xy}xy+2\varepsilon_{xz}xz+2\varepsilon_{yz}yz]. \tag{21}$$

Wir wollen nun die Frage stellen, für welche Punkte $P\ (x,\ y,\ z)$ die Dilatation s einen Extremwert hat. An diesen Stellen muß die Variation $\delta s = 0$ sein und wir erhalten:

$$\delta s = \frac{1}{R}\,[2\,\varepsilon_{xx}x\delta x+2\,-\varepsilon_{yy}y\delta y+2\,\varepsilon_{zz}z\delta z+2\,\varepsilon_{xy}y\delta x+2\,\varepsilon_{xy}x\delta y+2\,\varepsilon_{xz}z\delta x+2_{xz}x\delta z+$$
$$2\,\varepsilon_{yz}z\delta y+2\,\varepsilon_{yz}y\delta z] = O$$

oder:

$$(\varepsilon_{xx}x+\varepsilon_{xy}y+\varepsilon_{xz}z)\,\delta x+(\varepsilon_{xy}x+\varepsilon_{yy}y+\varepsilon_{yz}z)\,\delta y+(\varepsilon_{xz}x+\varepsilon_{yz}y+\varepsilon_{zz}z)\,\delta z = O \tag{22}$$

Aus der Gleichung für die Kugeloberfläche $x^2+y^2+z^2 = R^2$ folgt durch Differenzierung eine zweite Bedingung:

$$x\,\delta x+y\,\delta y+z\,\delta z = O \tag{23}$$

Durch Vergleich der Koeffizienten von δx, δy und δz erhält man:

$$\frac{\varepsilon_{xx}x+\varepsilon_{xy}y+\varepsilon_{xz}z}{x} = \frac{\varepsilon_{xy}x+\varepsilon_{yy}y+\varepsilon_{yz}z}{y} = \frac{\varepsilon_{xz}x+\varepsilon_{yz}y+\varepsilon_{zz}z}{z} = \text{const.} = \varepsilon \tag{24}$$

oder:

$$\begin{aligned}
(\varepsilon_{xx}-\varepsilon)\,x+\ \varepsilon_{xy}\quad & y+\ \varepsilon_{xz}\quad z = O\\
\varepsilon_{xy}\quad & x+(\varepsilon_{yy}-\varepsilon)\,y+\ \varepsilon_{yz}\quad z = O\\
\varepsilon_{xz}\quad & x+\ \varepsilon_{yz}\quad y+(\varepsilon_{zz}-\varepsilon)\,z = O
\end{aligned} \tag{25}$$

Die Punkte $P\ (x,\ y,\ z)$, deren Koordinaten diese Gleichungen befriedigen, bestimmen mit dem Ursprung die Richtungen, in denen die Dilatationen ihre Extremwerte annehmen.

Damit die drei Gleichungen nicht verschwindende Lösungen besitzen, muß die Koeffizientendeterminante null sein:

$$\begin{vmatrix}
\varepsilon_{xx}-\varepsilon & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz}\\
\varepsilon_{xy} & \varepsilon_{yy}-\varepsilon & \varepsilon_{yz}\\
\varepsilon_{xz} & \varepsilon_{yz} & \varepsilon_{zz}-\varepsilon
\end{vmatrix} = O \tag{26}$$

Die Determinante enthält die unbekannte Größe ε, die so bestimmt werden kann, daß die Determinante verschwindet. Die Auflösung der Determinante ergibt eine kubische Gleichung für ε, die, wie man beweisen kann, drei reelle Wurzeln ε_1, ε_2 und ε_3 besitzt. Jede dieser Lösungen in die Gleichung (25) eingesetzt ergibt einen Punkt, für den die Dilatation ein Extremwert ist. Man kann auf rein mathematischem Weg zeigen, daß diese drei Punkte mit dem Ursprung Richtungen bestimmen, die auf-

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

einander senkrecht stehen. Da die Dilatationen ε_1, ε_2 und ε_3 Extremwerte sind, werden sie Hauptdilatationen genannt und die von ihnen bestimmten Richtungen sind die Hauptdilatationsachsen.

Mit Hilfe der oben gewonnenen Beziehungen kann die Form berechnet werden, die die Kugeloberfläche bei Anwendung einer reinen Dehnung nach drei zueinander senkrechten Achsen annimmt.

Wir betrachten den Vorgang der Dehnung im Koordinatensystem, dessen Achsen die Hauptdilatationsachsen sind. Die Gleichung der undeformierten Kugeloberfläche lautet:

$$X^2+ Y^2+Z^2 = R^2$$

Bei der Deformation gehen die Koordinaten eines Oberflächenpunktes über in (siehe Gl. 12):

$$\begin{aligned} X_1 &= (1+\varepsilon_1)\, X \\ Y_1 &= (1+\varepsilon_2)\, Y \\ Z_1 &= (1+\varepsilon_3)\, Z \end{aligned}$$

Setzt man aus diesen Gleichungen in die Gleichung für die Kugeloberfläche ein, so ergibt sich:

$$\frac{X_1^2}{(1+\varepsilon_1)^2}+\frac{Y_1^2}{(1+\varepsilon_2)^2}+\frac{Z_1^2}{(1+\varepsilon_3)^2}=R^2, \tag{27}$$

die Gleichung der Oberfläche der deformierten Kugel. Man erkennt leicht, daß Gl. (27) die Gleichung eines Ellipsoides mit den Halbachsen:

$$\begin{aligned} a &= (1+\varepsilon_1)\, R \\ b &= (1+\varepsilon_2)\, R \\ c &= (1+\varepsilon_3)\, R \end{aligned} \tag{28}$$

ist. Bei einer linearen Deformation geht also eine Kugel in ein Ellipsoid, das Deformationsellipsoid, über.

Um die Hauptdilatationen an Punkten der Gletscheroberfläche zu berechnen, kann man das Problem zweidimensional betrachten. Die Gleichungen (25) nehmen dann die Form an:

$$\begin{aligned} (\varepsilon_{xx}-\varepsilon)\, x+ \varepsilon_{xy} \quad y &= O \\ \varepsilon_{xy} \quad x+(\varepsilon_{yy}-\varepsilon)\, y &= O \end{aligned} \tag{29}$$

wobei die ε_{ik} die partiellen Ableitungen der Verschiebungen ξ und η sind:

$$\varepsilon_{xx}=\frac{\partial \xi}{\partial x} \qquad \varepsilon_{xy}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial \xi}{\partial y}+\frac{\partial \eta}{\partial x}\right) \qquad \varepsilon_{yy}=\frac{\partial \eta}{\partial y} \tag{30}$$

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Wenn das Gleichungssystem (29) nicht verschwindende Lösungen haben soll, muß die Koeffizientendeterminante Null sein:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_{xx}-\varepsilon & \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{yy}-\varepsilon \end{vmatrix} = O \tag{31}$$

Das ergibt eine Gleichung zweiten Grades für ε:

$$(\varepsilon_{xx}-\varepsilon).(\varepsilon_{yy}-\varepsilon)-\varepsilon_{xy}^2 = O \tag{32}$$

oder:

$$\varepsilon^2 - \varepsilon\,(\varepsilon_{xx}+\varepsilon_{yy})+\varepsilon_{xx}\,\varepsilon_{yy}-\varepsilon_{xy}^2 = O \tag{33}$$

woraus die zwei Lösungen ε_1 und ε_2 folgen:

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{1}{2}(\varepsilon_{xx}-\varepsilon_{yy}) \pm \sqrt{\tfrac{1}{4}\,(\varepsilon_{xx}-\varepsilon_{yy})^2-\varepsilon_{xx}\,\varepsilon_{yy}+\varepsilon_{xy}^2}. \tag{34}$$

Ist die Dilatation positiv, so entspricht dies einer Dehnung, ist sie negativ, einer Stauchung.

Die Richtung der Hauptdilatation ε_1 ist gegeben, durch den Winkel α zwischen der Verbindung des Punktes, der die Dilatation ε_1 erfährt, mit dem Ursprung des Koordinatensystems und der positiven Abszissenachse:

$$\operatorname{cotg}\,\alpha = \frac{x}{y}. \tag{35}$$

Aus den Gleichungen (29) folgt:

$$\operatorname{cotg}\,\alpha = -\frac{\varepsilon_{xy}}{\varepsilon_{xx}-\varepsilon_1} = -\frac{\varepsilon_{yy}-\varepsilon_1}{\varepsilon_{xy}}. \tag{36}$$

Die Hauptdilatation ε_2 muß auf ε_1 senkrecht stehen.

Die Gleichungen (33) und (36) können mit Hilfe des Mohr-schen Kreises graphisch gelöst werden. Abb. 22 zeigt die Konstruktion.

Der Kreis, der durch die Punkte P_1 (ε_{xx}, ε_{xy}) und P_2 (ε_{yy}, ε_{xy}) geht und dessen Mittelpunkt M auf der Abszissenachse liegt, hat die Gleichung:

$$\left(\varepsilon_{ii} - \frac{\varepsilon_{xx}+\varepsilon_{yy}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{ik} = \left(\frac{\varepsilon_{xx}+\varepsilon_{yy}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{xy}^2 \tag{37}$$

Setzt man in dieser Gleichung $\varepsilon_{ik} = O$, so ergibt sich:

$$\left(\varepsilon_{ii} - \frac{\varepsilon_{xx}+\varepsilon_{yy}}{2}\right)^2 = \left(\frac{\varepsilon_{xx}+\varepsilon_{yy}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{xy}^2 \tag{38}$$

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

oder:

$$\varepsilon_{ii}^2-(\varepsilon_{xx}+\varepsilon_{yy}).\varepsilon_{ii}+\varepsilon_{xx}.\varepsilon_{yy}-\varepsilon_{xy}^2=0 \tag{39}$$

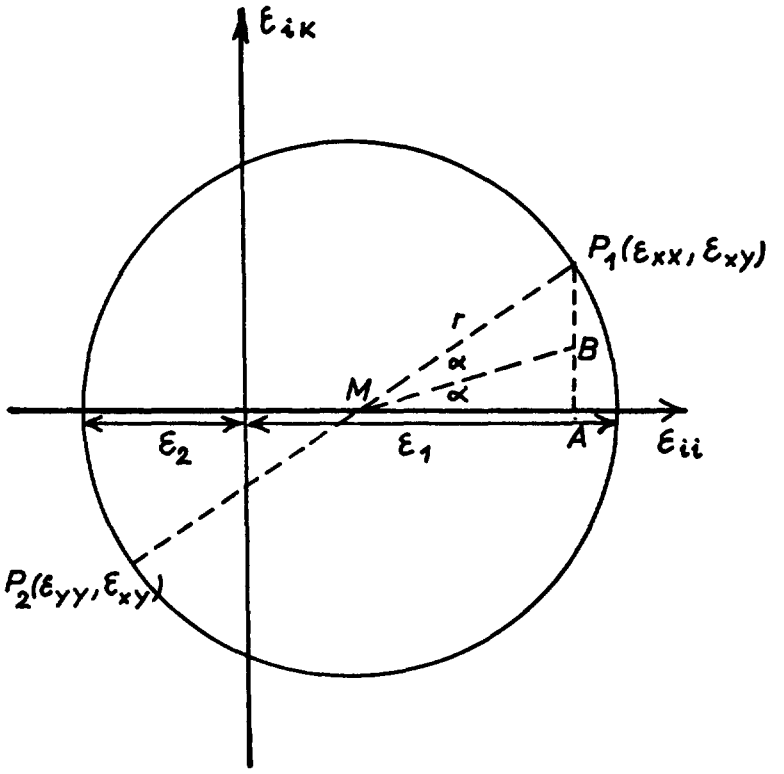

Abb. 22: Konstruktion der Hauptdilatationen mit Hilfe des Mohr'schen Kreises.

Da diese Gleichung (39) mit Gleichung (33) identisch ist, entsprechen die Abszissen der Schnittpunkte des Kreises mit der Abszissenachse den Hauptdilatationen ε_1 und ε_2. Der Radiusvektor MP_1 schließt mit der Abszissenachse den Winkel 2α ein, wobei α der Winkel zwischen der Hauptdilatation ε_1 und der x-Achse ist. Dies geht aus Abb. 22 hervor:

$$\operatorname{cotg}\alpha=\frac{\overline{MA}}{\overline{AB}} \qquad \overline{MA}=\varepsilon_{xx}-\frac{\varepsilon_{xx}+\varepsilon_{yy}}{2}$$

$$\overline{AB}=\frac{\overline{MA}.\varepsilon_{xy}}{\overline{MA}+r} \qquad r=\varepsilon_1-\frac{\varepsilon_{xx}+\varepsilon_{yy}}{2} \tag{40}$$

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

daraus folgt:

$$\operatorname{cotg} \alpha = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_{yy}}{\varepsilon_{xy}} \tag{41}$$

Diese Gleichung (41) ist identisch mit Gleichung (36).

III. 2. Berechnung der Hauptdilatationen

Nach der oben besprochenen Theorie wurden die Hauptdilatationen mit ihren Richtungen für den Bereich des Zusammenflusses des Hintereisferners mit dem Langtaufererjochferner berechnet. An den Pegeln wurden die Änderungen der Koordinaten von Jahr zu Jahr gemessen, die den Verschiebungen in der Theorie entsprechen, d. h., $\Delta x \equiv \xi$ und $\Delta y \equiv \eta$. Die Werte für Δx und Δy sind für die Perioden zwischen den Einmessungen in den Tabellen 2 und 3 in Metern angegeben.

Die ε_{ik} der Gleichung (34) zur Berechnung der Hauptdilatationen sind partielle Ableitungen dieser Verschiebungen nach den Koordinaten x und y, d. h., für die Ableitung nach x muß y konstant gehalten werden und umgekehrt. Es ist daher zur Bestimmung der ε_{ik} die Kenntnis der Verschiebungen Δx und Δy für Punkte der Gletscheroberfläche notwendig, die auf Parallelen zu den Koordinatenachsen liegen.

Beim Setzen der Pegel wurde nicht genau darauf geachtet, daß diese ein Netz bilden, dessen Seiten parallel zu den Koordinatenachsen verlaufen, da sich diese Anordnung schon im Laufe eines Jahres wegen der Verschiedenheit der Geschwindigkeitsvektoren der einzelnen Oberflächenpunkte merklich verändert hätte. Daher konnten die an den einzelnen Pegeln gemessenen Werte nicht in die Gleichungen (30), (34) und (36) zur Berechnung der Hauptdilatationen eingesetzt werden. Auch die von J. F. NYE vorgeschlagene Methode zur Berechnung der Hauptdilatationen auf der Gletscheroberfläche konnte nicht angewandt werden, da in dieser die Änderungen der Distanzen zwischen fünf Stangen verwendet werden, die an den Ecken eines Quadrates mit einer Stange in der Mitte angeordnet sind (NYE 1959).

Um die partiellen Ableitungen bestimmen zu können, mußten daher für das Gebiet der Pegel Isolinien für die Verschiebungen Δx und Δy gezeichnet werden. In den Abbildungen 23 und 24 sind für das Jahr 1960/61 als Beispiel die Linien gleicher Verschiebungen Δx bzw. Δy wiedergegeben, die aus den bei den Pegeln gemessenen Werten konstruiert wurden.

Damit die Werte aus den einzelnen Jahren besser verglichen werden können, wurden die Differenzen der Koordinaten aus den Tabellen 2 und 3 auf einen Zeitraum von 365 Tagen umgerechnet. Dabei wurde angenommen, daß die Bewegung während des ganzen Jahres gleichmäßig ist. Der Fehler, der dabei in Kauf genommen wird, liegt sicher unter der Meßgenauigkeit, da das Zeitintervall, für das extrapoliert werden mußte, klein ist (maximal 28 Tage) gegenüber dem zwischen den Einmessungen.

Die Größen Δx und Δy haben nach dieser Extrapolation die Dimension m. Jahr^{-1}, entsprechen also einer Deformationsgeschwindigkeit, nicht einer einfachen Ver-

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

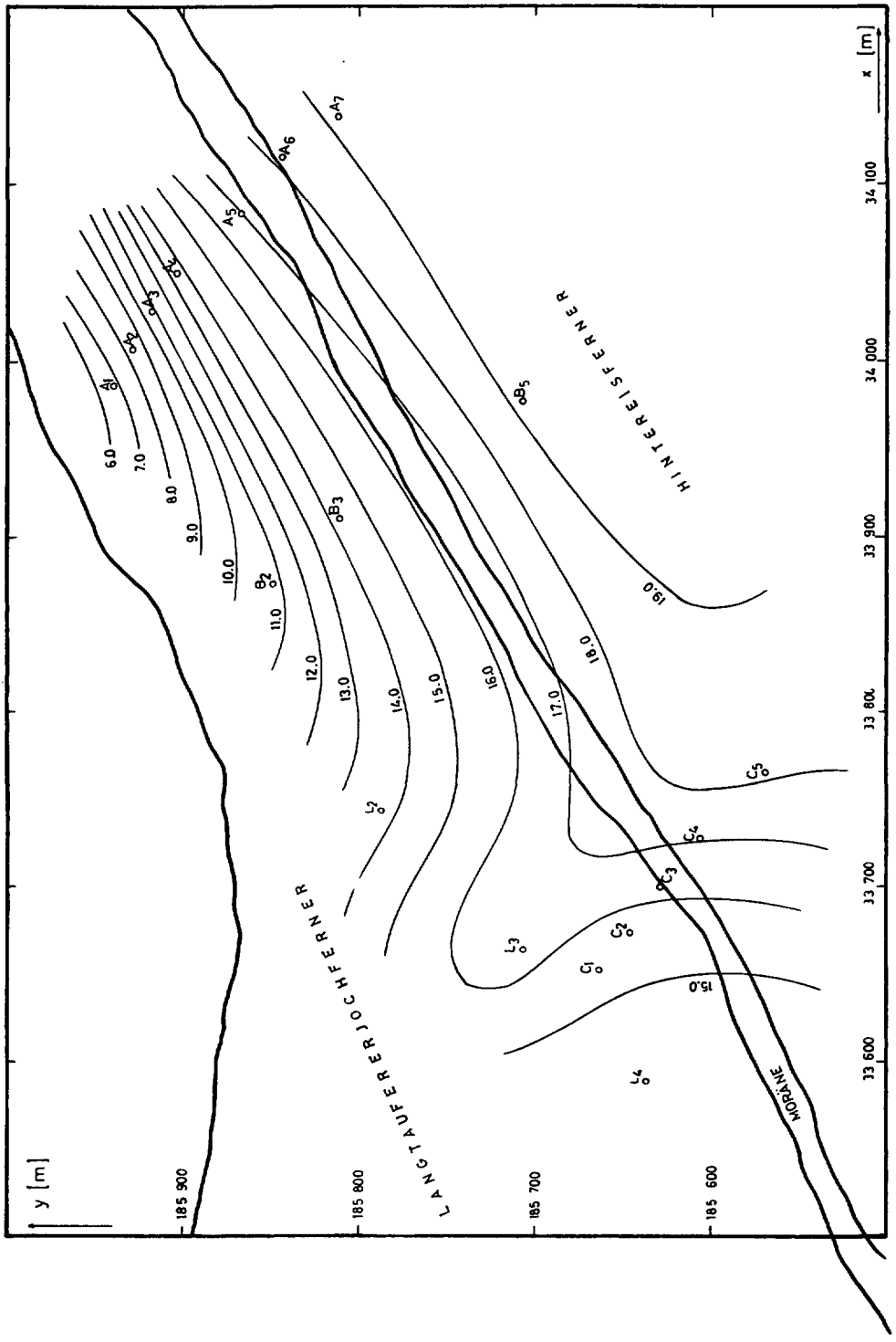

Abb. 23: Isolinien der Geschwindigkeitskomponente Δx m/Jahr für das Jahr 1960/61.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

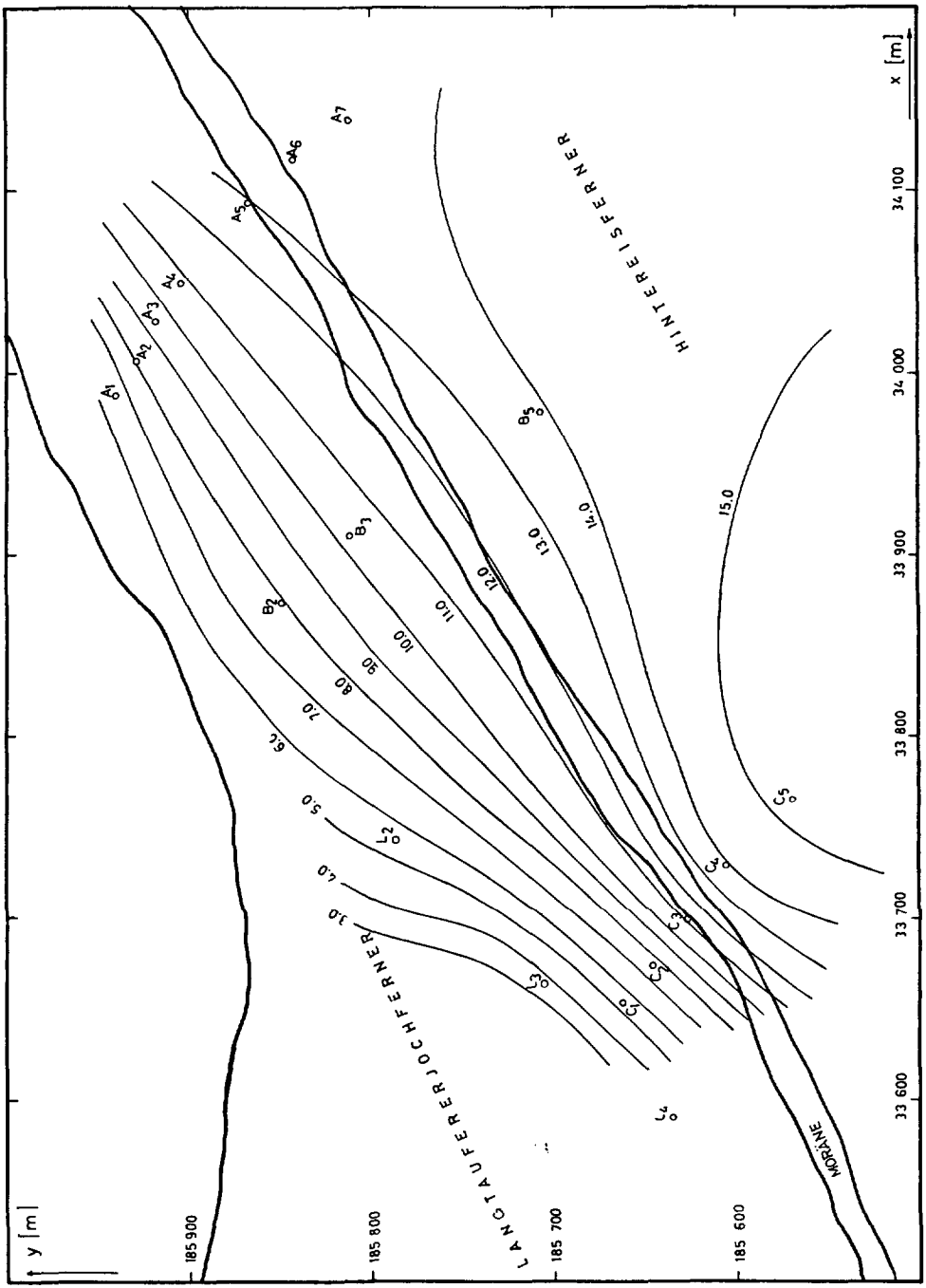

Abb. 24: Isolinien der Geschwindigkeitskomponente Δy m/Jahr für das Jahr 1960/61.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

schiebung. Die Größen ε_{ik} haben daher als Gradienten der Δx und Δy nach den Koordinaten x und y die Dimension Jahr^{-1}. Um auszudrücken, daß in diesen Größen die Zeit enthalten ist, ist es üblich, sie mit $\dot{\varepsilon}_{ik}$ zu bezeichnen.

Die Form der Isolinien für die Deformationsgeschwindigkeiten Δx und Δy ist für alle Jahre sehr ähnlich. Daher wurde das Jahr 1960/61 als Beispiel herausgegriffen und nur für dieses das Bild der Isolinien und die Arbeitsdiagramme zur Berechnung der Hauptdilatationen und ihrer Richtungen in diese Arbeit aufgenommen.

Aus dem Plan der Isolinien wurden für Punkte eines Netzes die Werte von Δx und Δy durch Interpolation gefunden (Tab. 15 bis 20) und als Funktion der Koordinaten

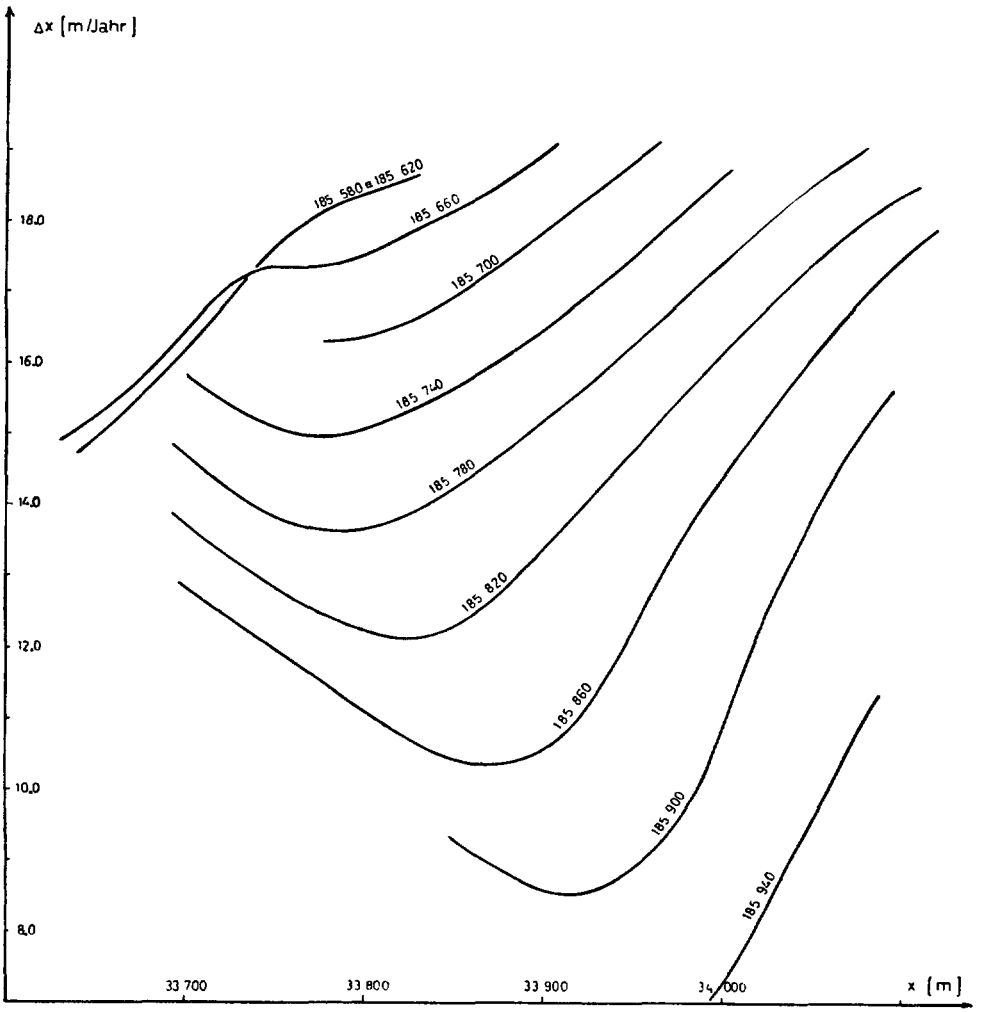

Abb. 25: Die Geschwindigkeitskomponente Δx als Funktion der Koordinate x mit der Koordinate y als Parameter für das Jahr 1960/61.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

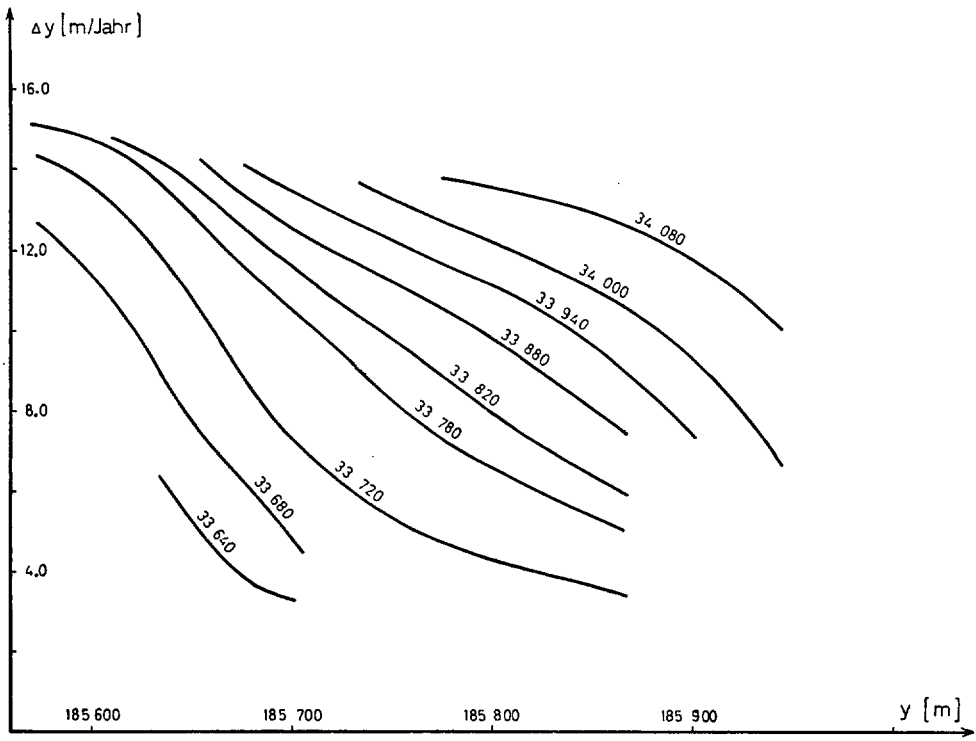

Abb. 26: Die Geschwindigkeitskomponente Δy als Funktion der Koordinate y mit der Koordinate x als Parameter für das Jahr 1960/61.

x und y aufgetragen (Abb. 25 bis 28). Durch die so erhaltenen Punkte konnten glatte Kurven gezogen werden. Die Ableitungen der Deformationsgeschwindigkeiten Δx und Δy nach den Koordinaten x und y wurden dann graphisch als Steigungen der Tangenten der Kurven in den Punkten des Netzes ermittelt (Tab. 15 bis 20). Damit waren alle zur Berechnung der Hauptdilatationen (Gleichung 34) und ihrer Richtungen (Gleichung 36) notwendigen Größen gegeben.

III. 3. Diskussion der Ergebnisse

In den Tabellen 15 bis 20 sind für jedes Jahr von 1957 bis 1963 die berechneten Werte der Hauptdilatationen und deren Richtungen für Punkte eines Netzes zusammengestellt, das innerhalb des von Meßpunkten belegten Bereiches willkürlich gewählt wurde. Die Hauptdilatationen ε_1 und ε_2 sind die Extremwerte der Dilatationen an den betreffenden Punkten der Gletscheroberfläche. Der Winkel α gibt den Winkel, den die Hauptdilatation ε_1 mit der positiven Abszissenachse einschließt. Die zweite Hauptdilatation ε_2 steht auf ε_1 senkrecht. Ist der Wert für ε_1 bzw. ε_2 positiv, so entspricht dies einer Dehnung, ist er negativ, so handelt es sich um eine

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

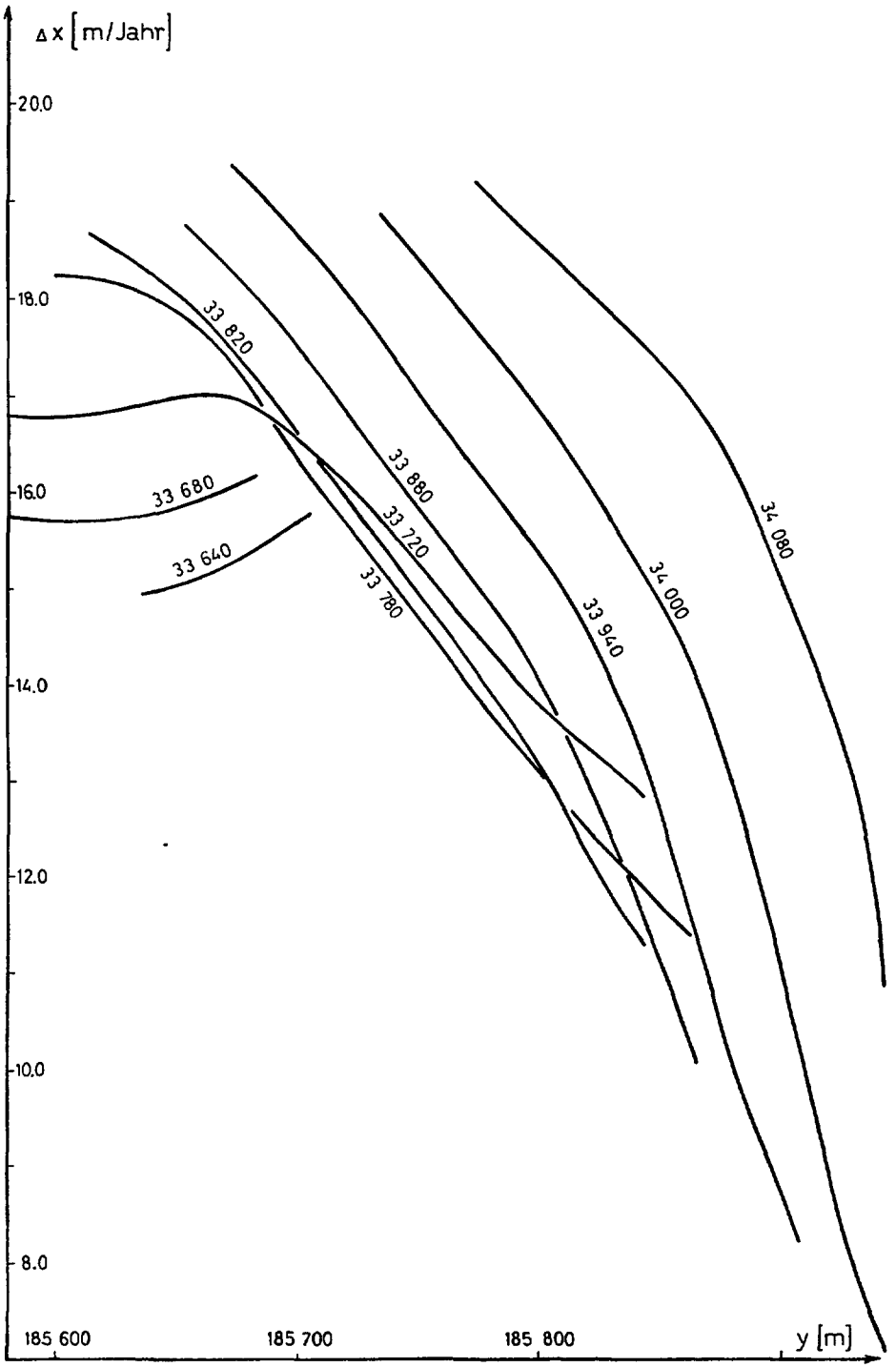

Abb. 27: Die Geschwindigkeitskomponente Δx als Funktion der Koordinate y mit der Koordinate x als Parameter für das Jahr 1960/61.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

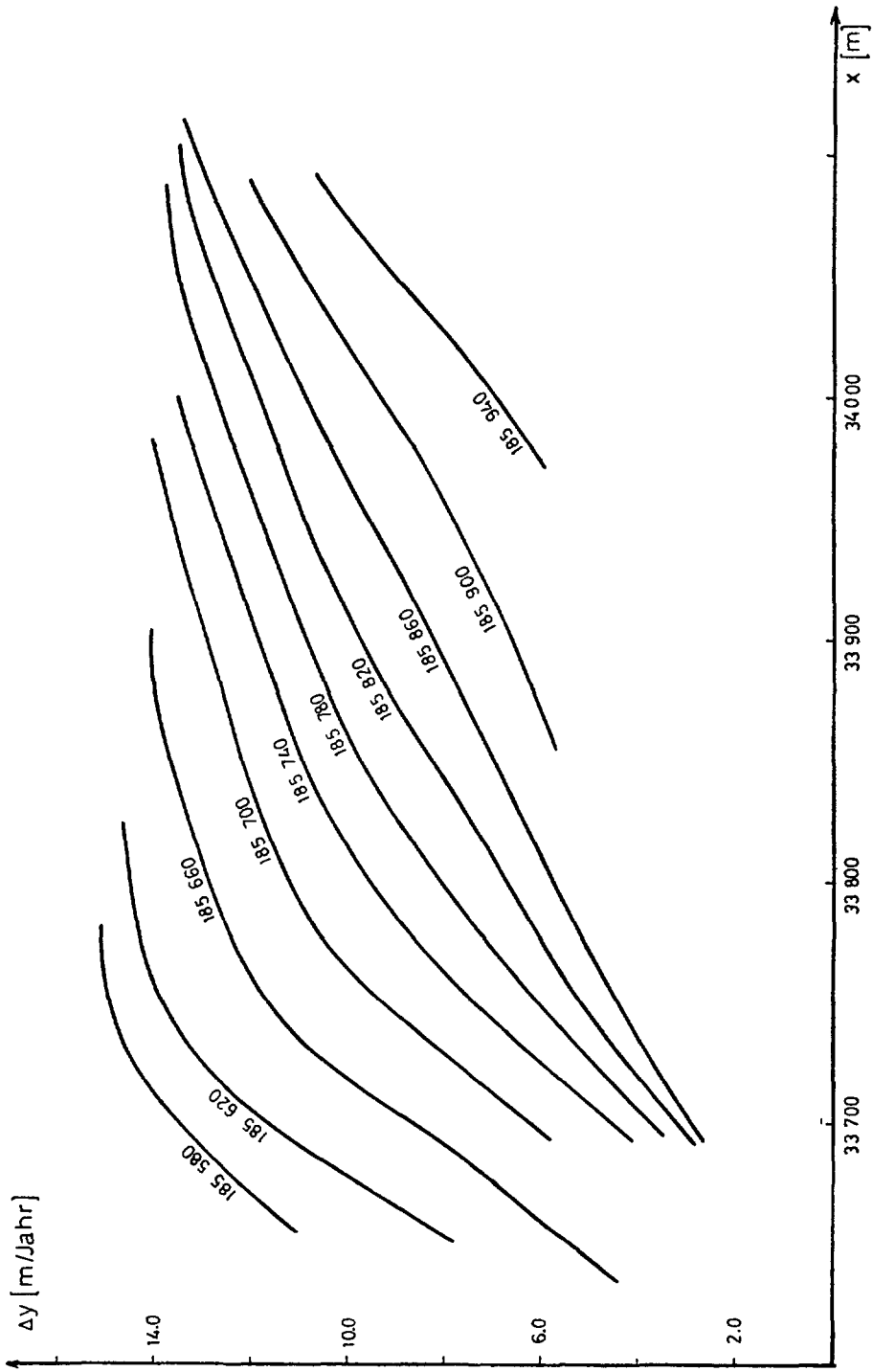

Abb. 28: Die Geschwindigkeitskomponente Δy als Funktion der Koordinate x mit der Koordinate y als Parameter für das Jahr 1960/61.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Stauchung. Die Größenordnung der Hauptdilatationen stimmt gut mit den Ergebnissen überein, die auf anderen Gletschern gefunden wurden, wie z. B. am Saskatchewan Glacier, Canada (M. MEIER 1960), am Taku Glacier, Alaska (WU und CHRISTENSEN 1964) und am South Cascade Glacier, Washington (MEIER und TANGBORN 1965).

Damit die Größe und Richtung der Hauptdilatationen in bezug auf die Spalten und Fließbedingungen des Gletschers diskutiert werden können, wurden diese in den Abbildungen 29 bis 34 als Pfeile eingezeichnet. Die Länge der Pfeile gibt die Größe der Hauptdilatationen wieder. Die zwei eingezeichneten Spaltensysteme, die auch auf dem Photo (Abb. 1) deutlich zu erkennen sind, sind der Luftaufnahme des Gletschers von 1953 entnommen. Aus einem Vergleich der von H. HESS 1920 aufgenommenen Karte des Hintereisferners (HESS 1923/24) mit dem Luftbild von 1953 und der Alpenvereinskarte von 1942 geht hervor, daß sich das Muster der Spalten im Laufe der Jahre nicht ändert. Vor allem bleibt der Winkel konstant, den die Längsachsen der Spalten mit der Fließrichtung des Gletschers einschließen. Dies war auf Grund der Theorie über den Mechanismus der Spaltenbildung zu erwarten, wonach die Entstehung von Spalten von der Form des Gletscherbettes abhängt (LAGALLY 1929). Eine bestimmte Topographie des Gletscherbettes erzeugt ein Feld von Geschwindigkeitsgradienten an der Oberfläche, das unmittelbar für die Bildung von Spalten verantwortlich ist.

Die Hauptdilatationen schließen am Rand des Gletschers mit diesem einen Winkel von ungefähr 45° ein. Dieser Zusammenhang zwischen der Orientierung der Hauptdilatationen und dem Verlauf des Gletscherrandes wurde von LAGALLY theoretisch behandelt (LAGALLY 1933), von M. MEIER am Saskatchewan Glacier (MEIER 1960) und von J. ZUMBERGE am Ross Ice Shelf (ZUMBERGE 1964) bestätigt gefunden.

Auf den Darstellungen der Hauptdilatationen in den einzelnen Jahren von 1957 bis 1963 können deutlich drei Gebiete unterschieden werden, die in den Abbildungen 29—34 mit I, II und III bezeichnet wurden.

Das Gebiet I ist dadurch gekennzeichnet, daß beide Hauptdilatationen für jeden Punkt annähernd gleich groß sind. Beim Übergang vom Gebiet I zum Gebiet II ist die Dehnung so groß, daß Spalten aufreißen. Diese stehen bei ihrer Entstehung (etwa bei Koordinate $x = 33.880$) senkrecht auf die Hauptdehnungsrate und erfahren dann, wenn sie gletscherabwärts wandern, wegen des Geschwindigkeitsgefälles zum Rand hin, eine Rotation. Obwohl gletscherabwärts die Dehnung größer wird, ist sie für das Aufreißen neuer Spalten in dem bereits gedehnten Eis im allgemeinen zu klein. Nur an wenigen Stellen entsteht zwischen zwei Spalten eine neue, die wieder senkrecht zur Hauptdehnungsrate steht und daher mit den beiden rotierten Spalten einen Winkel einschließt. WU und CHRISTENSEN erhielten für einen Punkt auf der Oberfläche des Taku Glacier, Alaska, in einem Gebiet mit vielen Spalten eine mittlere Dehnungsrate von 0,085 Jahr^{-1} (WU UND CHRISTENSEN 1964). Dieser

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

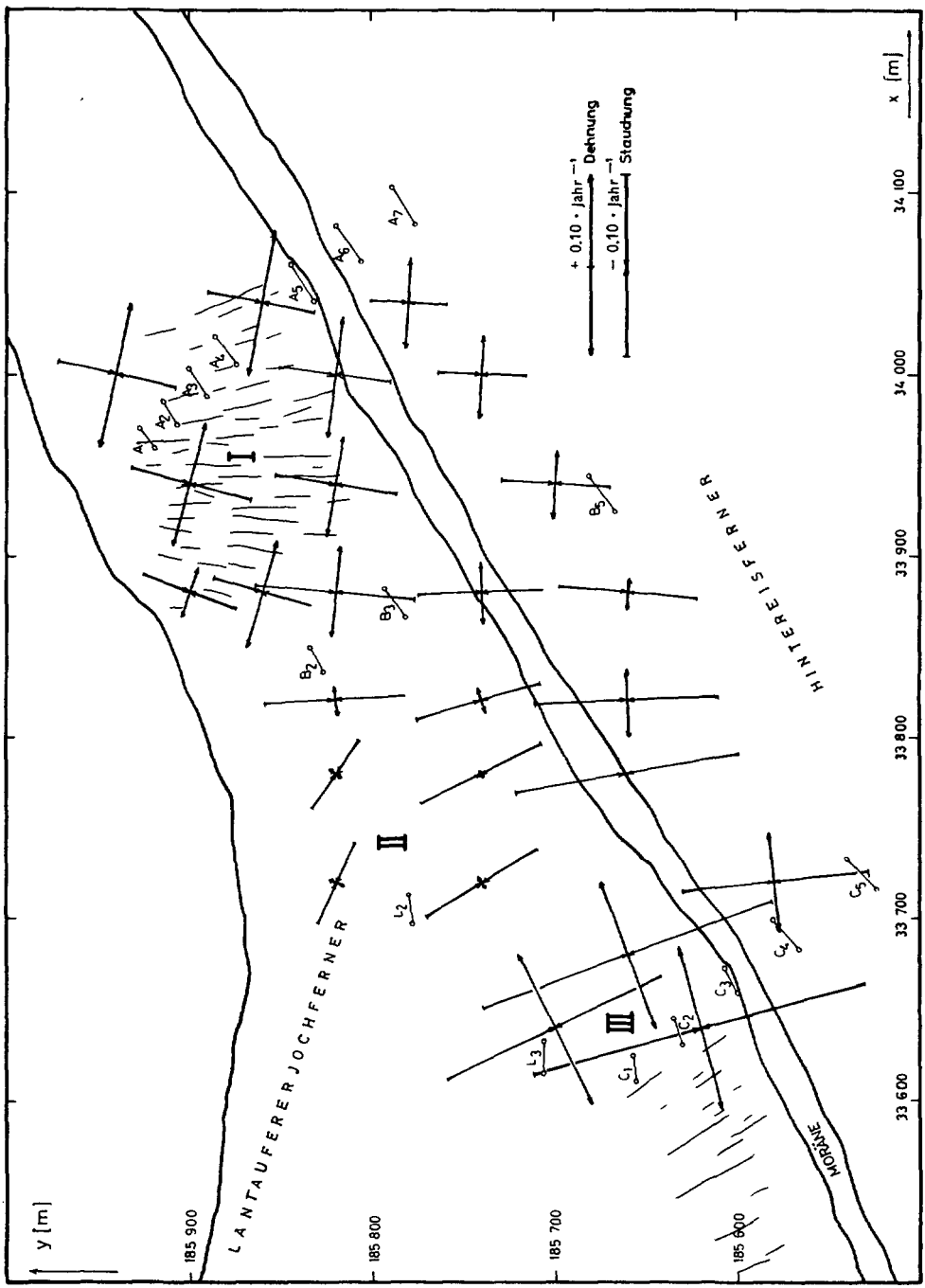

Abb. 29: Größe und Richtung der Hauptdilatationen für das Jahr 1957/58.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

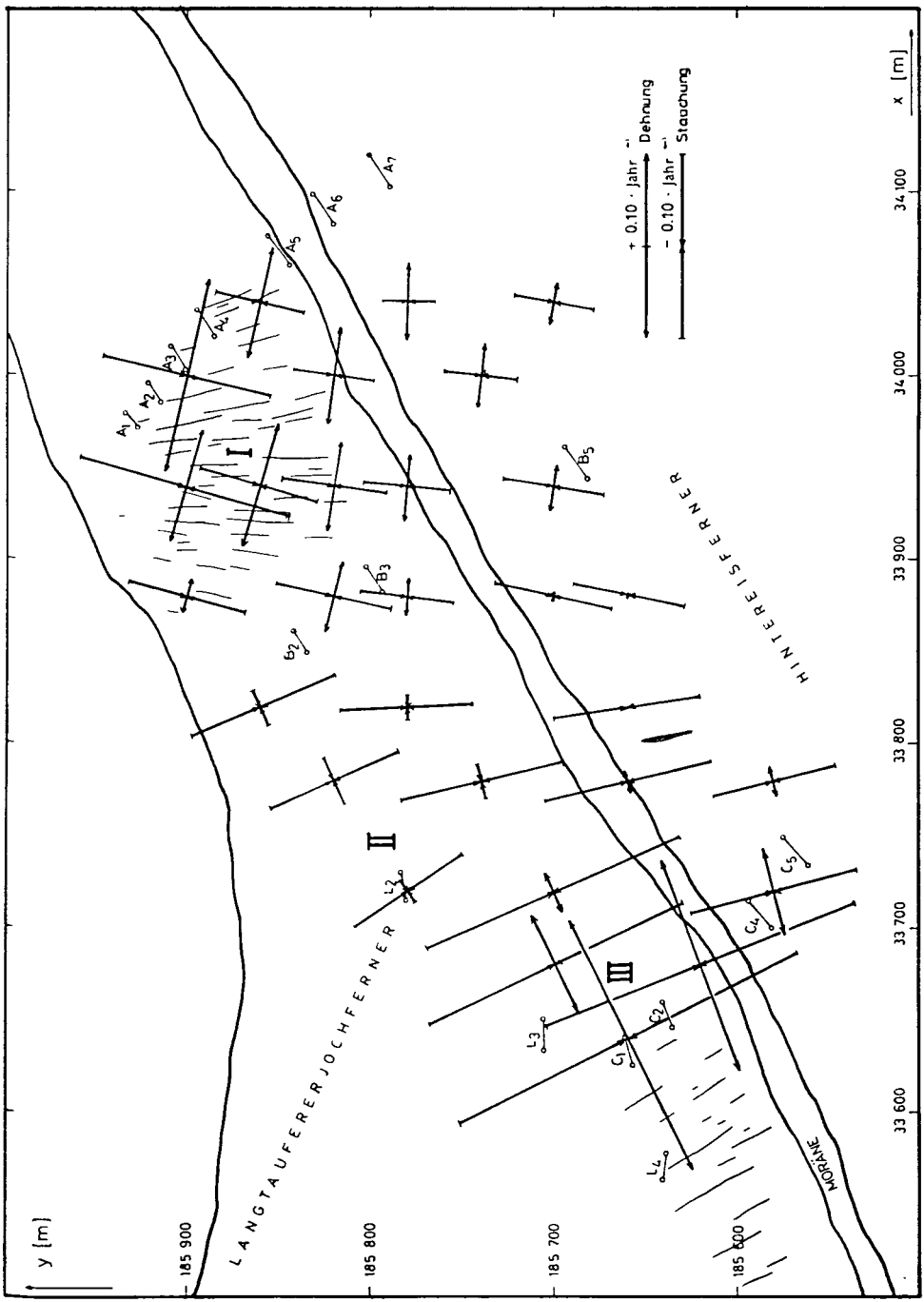

Abb. 30: Größe und Richtung der Hauptdilatationen für das Jahr 1958/59.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

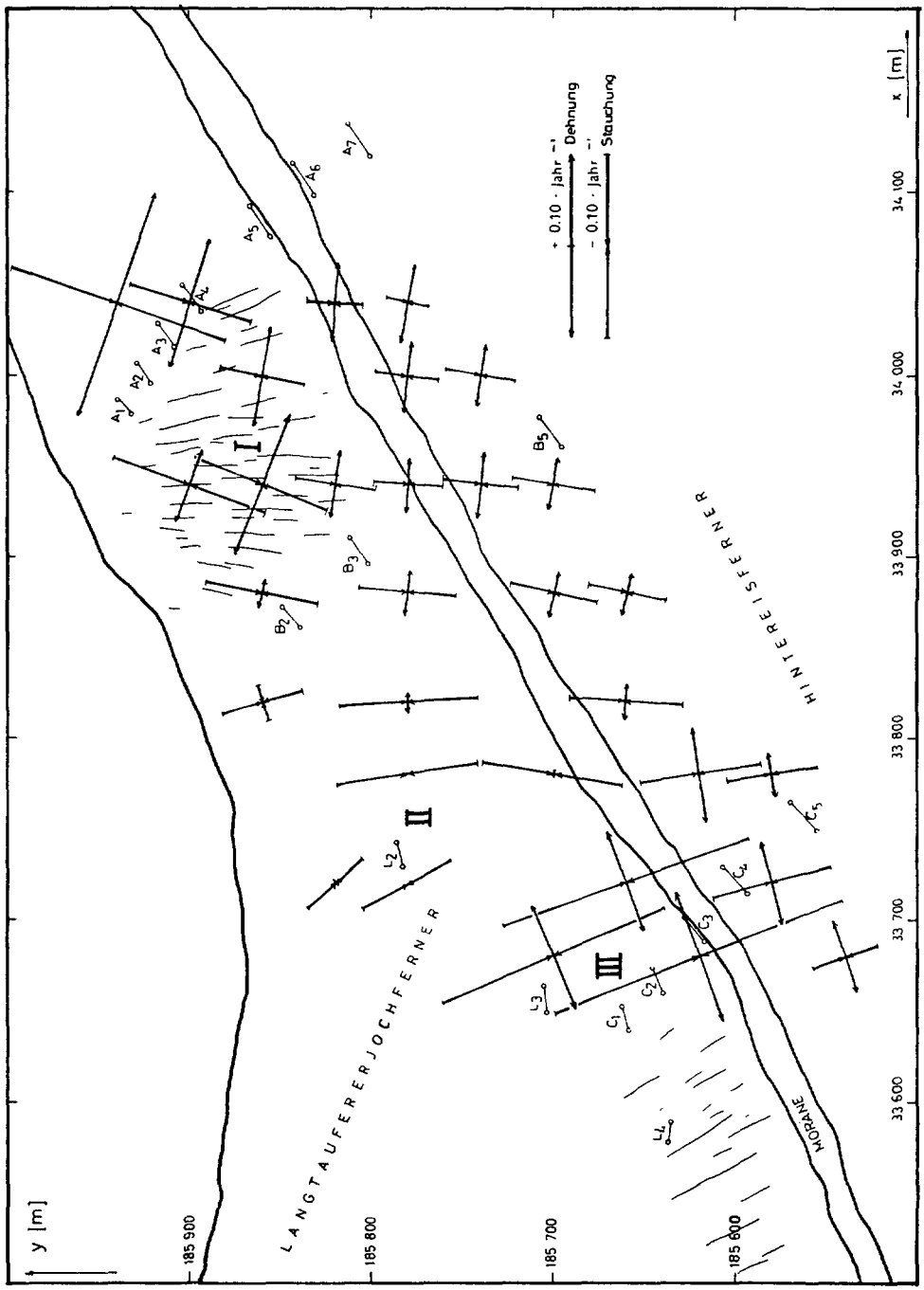

Abb. 31: Größe und Richtung der Hauptdilatationen für das Jahr 1959/60.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

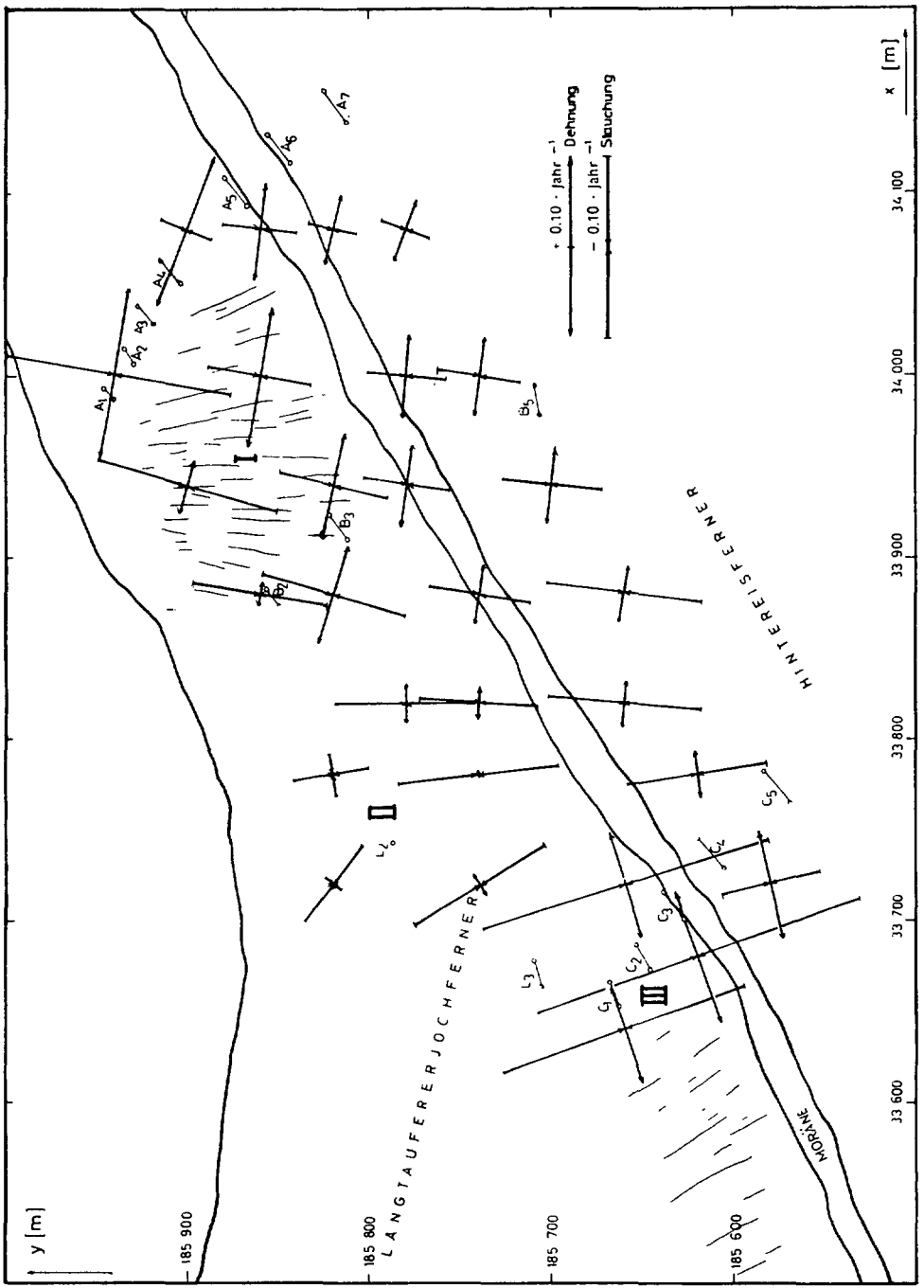

Abb. 32: Größe und Richtung der Hauptdilatationen für das Jahr 1960/61.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

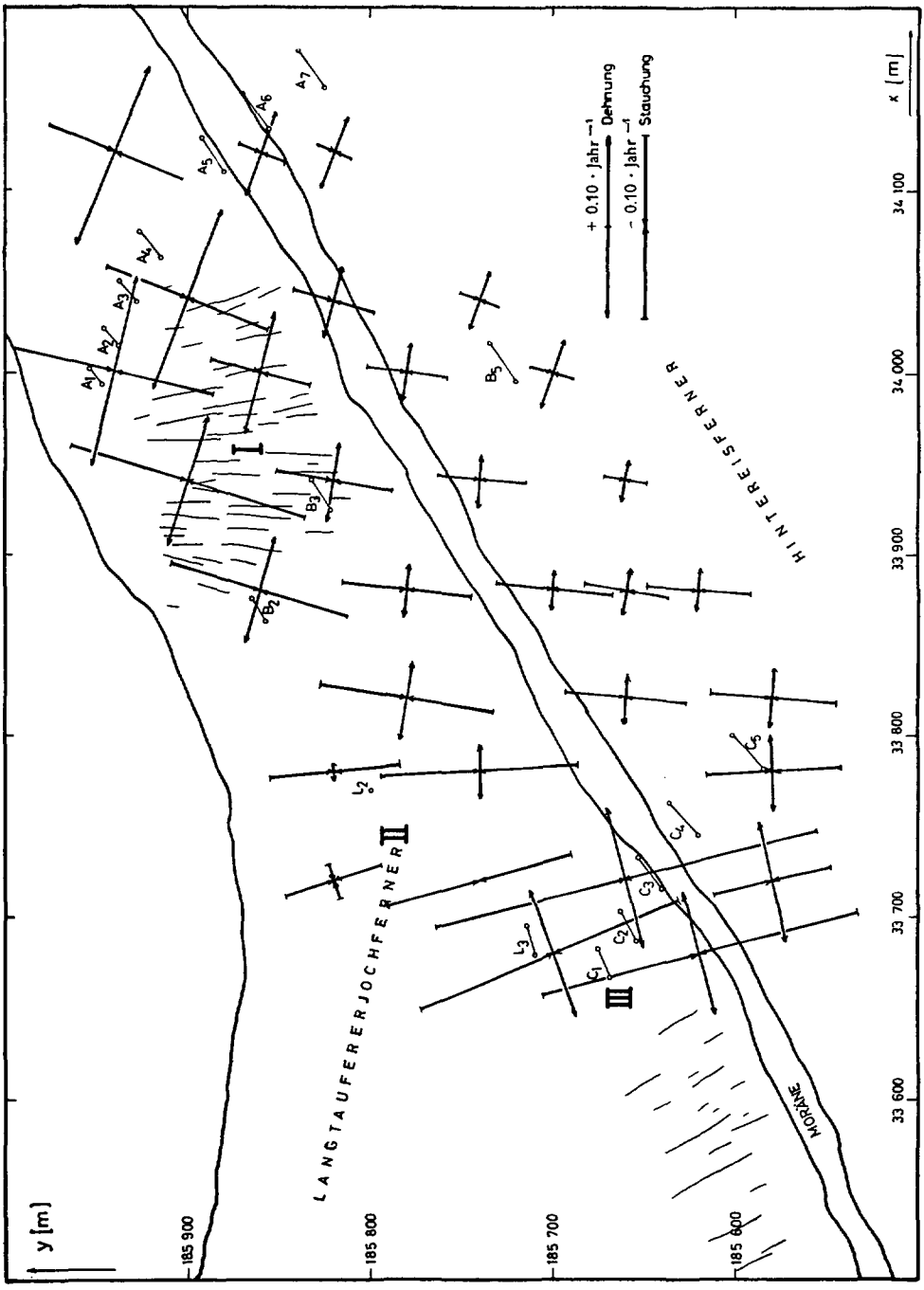

Abb. 33: Größe und Richtung der Hauptdilatationen für das Jahr 1961/62.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

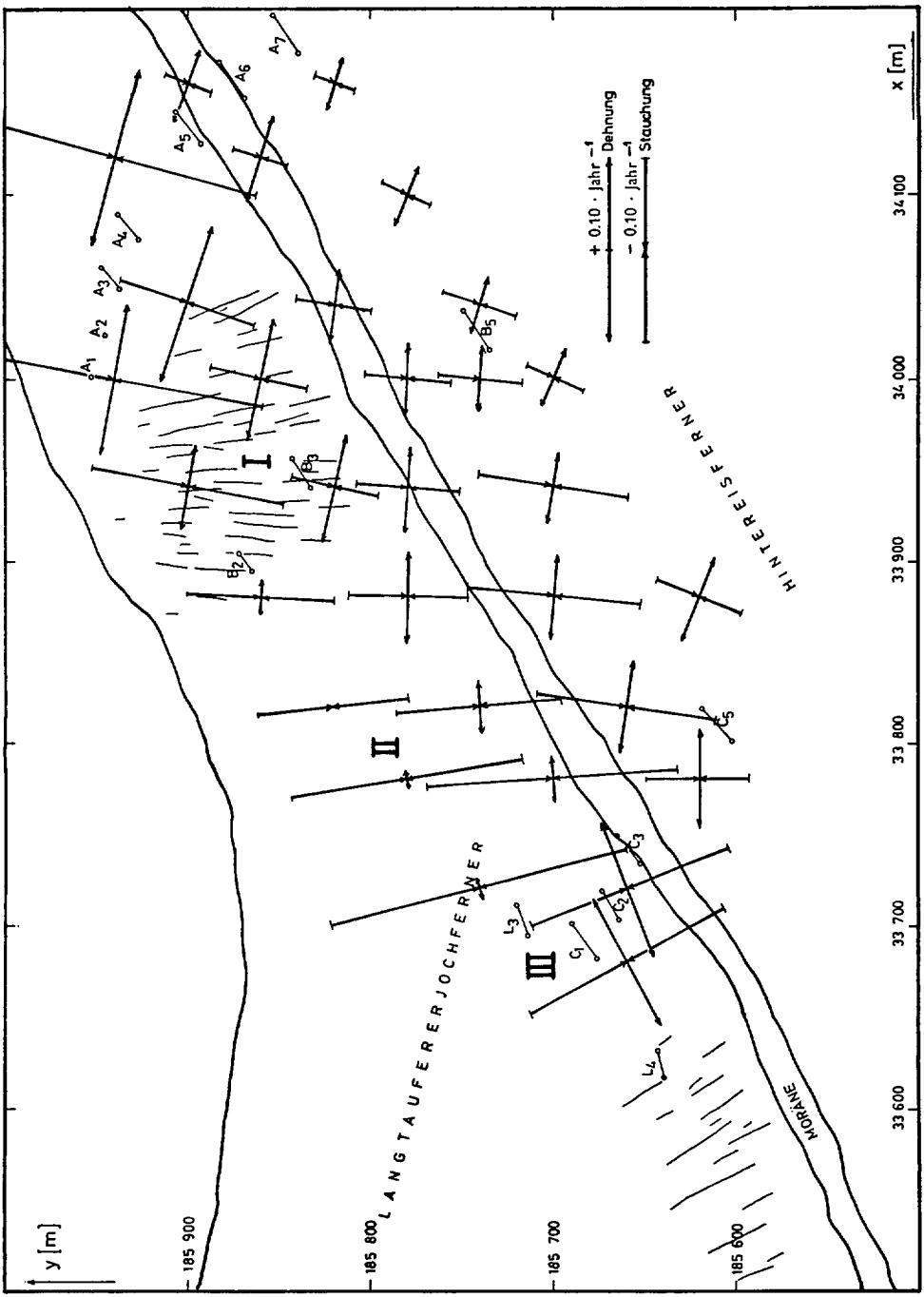

Abb. 34: Größe und Richtung der Hauptdilatationen für das Jahr 1962/63.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Wert stimmt mit den im Gebiet I des Hintereisferners errechneten Hauptdehnungsraten überein, die zwischen 0,015 und 0,130 Jahr^{-1} schwanken.

Im Gebiet II wird der Langtaufererjochferner durch den Zusammenfluß mit dem Hintereisferner auf seine halbe Breite zusammengedrängt. Dort tritt große Stauchung auf, während die Dehnung praktisch Null wird. Auf der Luftaufnahme (Abb. 1) ist dieses Gebiet großen Druckes an der Struktur der Gletscheroberfläche zu erkennen. Es tritt eine feine Bänderung des Eises (foliation) mit sehr schmalen Rissen von wenigen Millimetern Breite auf, wie sie nach SHARP (SHARP 1960) durch große Kompression oder Scherung verursacht wird.

Bei der Berechnung der Hauptdilatationen im Gebiet III konnte nicht das ganze Spaltensystem erfaßt werden, da es nur an seinem unteren Rand, d. h., beim Übergang zum Gebiet II, mit Meßpunkten belegt ist. Da die Hauptdilatationen im ganzen Gebiet I zueinander praktisch parallel sind, kann man sicher annehmen, daß dies auch für das Gebiet II gilt. Die Dehnungen stehen auch hier senkrecht auf die aufreißenden Spalten am oberen Rand des Gebietes III, die auf ihrem Weg gegen die Zunge ein wenig rotiert werden. Gleichzeitig treten an dieser Stelle große Stauchungen auf, da der Langtaufererjochferner durch den Hintereisferner zu einer Änderung der Fließrichtung gezwungen und sein Bett verengt wird.

M. MEIER fand bei seinen Studien über den Mechanismus der Spaltenbildung (MEIER 1958) sowohl am Saskatchewan Glacier, Canada, als auch im Blue Ice Valley, Grönland, daß Spalten nur dann aufreißen, wenn die Hauptdehnungsraten den Wert von 0,01 Jahr^{-1} übersteigen. Diese Bedingung ist notwendig, aber nicht hinreichend, da es von der vorhergegangenen Beanspruchung des Eises abhängt, ob eine Spalte bei einer bestimmten Dehnungsrate aufreißen kann oder nicht. Im gedehnten Eis sind sicher größere Dehnungsraten erforderlich als beim unbeanspruchten Eis. Auch am Hintereisferner wurden in den Spaltengebieten keine Hauptdehnungsraten gefunden, die kleiner als 0,01 Jahr^{-1} waren. G. HOLDSWORTH (HOLDSWORTH 1965) ermittelte am Kaskawulsh Glacier, Canada, für die kritische Dehnungsrate den Wert 0,013 Jahr^{-1}.

Zusammenfassung

Mit Hilfe von Pegeln und Steinlinien wurde die vertikale Komponente v_z der Geschwindigkeit des Eises auf der Zunge des Hintereisferners (Ötztaler Alpen) in der Periode 1957 bis 1959 gemessen. Der Mittelwert von v_z betrug 1,50 m/Jahr für die betrachtete Fläche von 2,0 km^2, das bedeutet, daß 40% des durch Ablation von der Zunge entfernten Eises durch die Bewegung ersetzt wurden. Die Beziehung zwischen Nettoablation und vertikaler Komponente der Geschwindigkeit spiegelt den stark negativen Massenhaushalt des Hintereisferners in den betrachteten Jahren wider.

Die Verteilung der Dilatationen wurde für eine Fläche von ungefähr 0,3 km^2 bestimmt, indem ein Netz von 30 Pegeln verwendet wurde. Dieses wurde im Sommer 1957 im Gebiet des Zusammenflusses des Hintereis- und Langtaufererjochferners

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

errichtet und in jedem Jahr bis zum Sommer 1963 neu vermessen. In den Zonen, in denen Spalten auftreten, wurden große Dehnungen gefunden, das Gebiet des Zusammenflusses zeigte nur Stauchungen.

Die vorliegende Dissertation entstand unter der Leitung meines geschätzten Lehrers, Herrn Univ.-Prof. Dr. H. HOINKES, Vorstand des Institutes für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck. Für seine zahlreichen Anregungen zur Lösung der Probleme und zur Abfassung der Dissertation möchte ich ihm gebührend danken. Herrn Univ. Doz. Dr. W. AMBACH, auf den mein Dissertationsthema zurückgeht, sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Er begann das Meßprogramm im Sommer 1957 und leitete selbst in jedem Jahr die Neuvermessungen der Pegel. Dr. W. Ambach zeigte stets reges Interesse am Fortgang der Auswertungen und stand mir in den einschlägigen Fragen beratend zur Seite. Mein Dank gebührt auch den vielen freiwilligen Helfern, ohne die die umfangreichen Feldarbeiten nicht hätten durchgeführt werden können, und Frau Dr. Eva AMBACH für die Berechnung der Vorwärtseinschnitte. Für die finanzielle Unterstützung bin ich der Österreichischen Akademie der Wissenschaften zu großem Dank verpflichtet.

Literaturnachweis

BLÜMCKE A. und HESS H. 1899: Untersuchungen am Hintereisferner. Wissenschaftliche Ergänzungshefte zur Zeitschrift des D. und Ö. Alpenvereins, 1. Band, 2. Heft.

FÖRTSCH O. und VIDAL H. 1956: Die Ergebnisse seismischer Messungen auf dem Hintereisferner in den Ötztaler Alpen 1954. Gerlands Beitr. z. Geophysik, 65, p. 131—156.

HESS H. 1923/24: Der Hintereisferner 1893 bis 1922. Zeitschr. f. Gletscherkunde, 13, p. 145—203.

HOINKES H. und RUDOLPH R. 1962 A: Variations in the mass balance of Hintereisferner (Ötztal Alps) 1952—1961 and their relation to variations of climatic elements. International Association of Scientific Hydrology, Publ. No. 58, Symposium of Obergurgl, p. 16—28.

HOINKES H. and RUDOLPH R. 1962 B: Mass balance studies on the Hintereisferner, Ötztal Alps, 1952—1961. Journal of Glaciology Vol. 4, p. 266—278.

HOINKES H. und LANG H. 1963: Der Massenhaushalt von Hintereis- und Kesselwandferner (Ötztaler Alpen), 1957/58 und 1958/59. Archiv für Meteorologie, Serie B, Band XII, p. 284—320.

HOLDSWORTH G. 1965: An examination and analysis of the formation of transverse crevasses, Kaskawulsh Glacier, Yukon Territory, Canada. Institute of Polar Studies, Report No. 16, Ohio State University, Columbus.

LAGALLY M. 1929: Versuch einer Theorie der Spaltenbildung in Gletschern. Zeitschr. f. Gletscherkunde, 17, p. 285—301.

LAGALLY M. 1933: Mechanik und Thermodynamik des stationären Gletschers. Gerlands Beitr. zur Geophysik, zweiter Supplementband, p. 1—94.

LANG H. 1962: Massenhaushalt und Abfluß des Hintereis- und Kesselwandferners (Ötztaler Alpen) in den hydrologischen Jahren 1957/58 und 1958/59 (IGY, IGC). Dissertation, Universität Innsbruck, Mai 1962.

MEIER M. F. 1958: The mechanics of crevasse formation. International Association of Scientific Hydrology, Publ. No. 46, General Assembly of Toronto, Vol. 4, p. 500—508.

MEIER M. F. 1960: Mode of flow of Saskatchewan Glacier, Alberta, Canada. U. S. Geological Survey. Professional Paper 351.

MEIER M. F. and TANGBORN W. V. 1965: Net budget and flow of South Cascade Glacier, Washington. Journal of Glaciology, Vol. 5, No. 41, p. 547—566.

MELLOR M. 1964: Snow and ice on the earth's surface. U. S. Army CRREL, Cold Regions Sci. and Eng., Pt II, Sec. C.

NYE J. F. 1959: A method of determining the strain rate tensor at the surface of a glacier. Journal of Glaciology Vol. 3, No. 25, p. 409—419.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

SCHAEFER Cl. 1944: Einführung in die theoretische Physik. Band I, Walter de Gruyter u. Co., Berlin 1944.
SCHATZ H. 1953: Nachmessungen im Gebiet des Hintereisferners und Vernagtferners in den Jahren 1939 bis 1950. Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glaziologie, Band 2, p. 135—138.
SCHATZ H. 1963: Observations on the Hintereis- and Vernagtferner. Bull. of the Intern. Association of Scientific Hydrology, VIII[e] Année No. 1, p. 94—96.
SCHIMPP O. 1957: Akkumulation, Ablation und Gletscherbewegung und die sich daraus ergebende Haushaltsberechnung am Hintereisferner in den Jahren 1952/53 und 1953/54. Dissertation, Universität Innsbruck, Juni 1957.
SCHIMPP O. 1958: Der Eishaushalt am Hintereisferner in den Jahren 1952/53 und 1953/54. International Association of Scientific Hydrology, Publ. No. 46, Vol. IV, General Assembly of Toronto, p. 301—314.
SCHYTT V. und CEDERSTRAND P. 1963: Glacier retreat studied by levelled profils. Geografiska Annaler Vol. XLV, No. 4, p. 294—302.
SHARP R. P. 1960: Glaciers. Condon Lectures, University of Oregon Press.
ZUMBERGE J. H. 1964: Horizontal strain and absolute movement of the Ross Ice Shelf between Ross Island and Roosevelt Island. Antartica, 1958—1963. Antartic Snow and Ice Studies, Antarctic Research Series Vol. 2, p. 65—82.
WU T. H. and CHRISTENSEN R. W. 1964: Measurement of surface strain rate on Taku Glacier, Alaska. Journal of Glaciology Vol. 5, No. 39, p. 305—314.

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Koordinaten der Pegel vom 10. 10. 1957 und 28. 8. 1963.
Tabelle 2: Differenzen der x-Koordinaten $\Delta x[m]$ der Pegel für die Zeit zwischen den Einmessungen.
Tabelle 3: Differenzen der y-Koordinaten Δy $[m]$ der Pegel für die Zeit zwischen den Einmessungen.
Tabelle 4: Differenzen der z-Koordinaten Δz $[m]$ der Pegel für die Zeit zwischen den Einmessungen.
Tabelle 5: Horizontale Komponente der Fließwege d $[m]$ der Pegel für die Zeit zwischen den Einmessungen.
Tabelle 6: Nettoeisablationen a [m Eis/Jahr] bei den Pegeln in den einzelnen Haushaltsjahren von 1957 bis 1963.
Tabelle 7: Höhendifferenzen der Gletscheroberfläche Δh [m] der Standorte der Pegel zur Zeit der Einmessungen.
Tabelle 8: Vertikalbewegungen Δv [m] der Pegel für die Zeit zwischen den Einmessungen.
Tabelle 9: Jährliche Vertikalbewegung Δv $[m/Jahr]$ und Nettoablation a [m Eis/Jahr] der Pegel als Mittelwert für die Jahre 1957/58 und 1958/59.
Tabelle 10: Meßwerte bei den Steinlinien 3 und 6.
Tabelle 11: Koordinaten der Steine der Steinlinie 1 am 11. 8. 1957 und 31. 8. 1959.
Tabelle 12: Vertikalbewegung und Nettoablation bei der Steinlinie 1.
Tabelle 13: Vertikalbewegung und Nettoablation bei der Steinlinie 3.
Tabelle 14: Vertikalbewegung und Nettoablation bei der Steinlinie 6.
Tabelle 15: Berechnung der Hauptdilatationen und ihrer Richtungen für das Jahr 1957/58.
Tabelle 16: Berechnung der Hauptdilatationen und ihrer Richtungen für das Jahr 1958/59.
Tabelle 17: Berechnung der Hauptdilatationen und ihrer Richtungen für das Jahr 1959/60.
Tabelle 18: Berechnung der Hauptdilatationen und ihrer Richtungen für das Jahr 1960/61.
Tabelle 19: Berechnung der Hauptdilatationen und ihrer Richtungen für das Jahr 1961/62.
Tabelle 20: Berechnung der Hauptdilatationen und ihrer Richtungen für das Jahr 1962/63.

Anschrift der Verfasserin: Dr. Karin SCHRAM, Osservatorio Ticinese, CH-6605 Locarno-Monti.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 1

Koordinaten der Pegel

	10. 10. 1957			25. 8. 1963		
	x	y	z	x	y	z
A1	33.960,99	185.919,66	2739,56	34.002,44*	185.952,88*	2725,20*
A2	33.974,70	185.906,28	2740,69	34.025,49	185.952,29	—
A3	33.990,74	185.889,77	2741,59	34.062,19	185.946,91	2720,11
A4	34.006,48	185.874,40	2740,39	34.090,01	185.937,50	2717,77
A5	34.041,84	185.832,27	2737,78	34.145,99	185.906,02	2716,60
A6	34.063,14	185.806,84	2740,38	34.172,44	185.882,95	2719,18
A7	34.082,85	185.775,92	2742,56	34.198,33	185.852,99	2720,83
B1	33.814,85	185.869,29	2753,22	—	—	—
B2	33.837,69	185.826,28	2747,87	33.906,38	185.872,95	2735,83
B3	33.867,66	185.782,18	2747,26	33.956,92	185.842,89	2733,12
B4	33.899,71	185.734,00	2747,67	—	—	—
B5	33.925,78	185.666,67	2755,97	34.038,20	185.749,20	2738,25
B6	33.961,40	185.564,73	2758,77	34.076,73	185.650,34	2740,73
B7	33.992,02	185.469,72	2762,96	34.102,75	185.553,85	2744,15
B8	34.035,16	185.349,57	2765,26	34.137,91	185.430,15	2745,02
B9	34.046,79	185.281,80	2766,82	(34.265,11)	(185.234,95)	(2743,76)
B10	34.123,24	185.178,40	2763,99	34.161,82	185.214,57	2749,72
C1	33.611,19	185.656,22	2774,69	33.701,05	185.689,45	2756,80
C2	33.631,13	185.629,98	2774,54	33.719,76	185.673,84	2754,02
C3	33.659,48	185.596,74	2769,72	33.749,90	185.665,53	2751,43
C4	33.683,67	185.565,91	2770,44	33.763,07*	185.635,81*	2757,49*
C5	33.717,12	185.523,33	2774,62	33.820,53	185.618,80	2756,84
D1	33.397,90	185.415,55	2780,41	33.402,56	185.426,51	2774,28
D2	33.415,22	185.403,98	2783,57	33.427,30	185.429,47	2775,52
D3	33.435,49	185.392,33	2786,02	33.458,00	185.433,43	2777,87
D4	33.459,33	185.377,53	2787,18	—	—	—
L1	33.746,06	185.842,96	2761,37	—	—	—
L2	33.698,63	185.777,57	2767,91	33.770,14*	185.799,28*	2749,70*
L3	33.616,22	185.706,80	2775,50	33.711,39	185.720,13	2752,70
L4	33.550,69	185.643,99	2780,74	33.631,69	185.642,33	2765,37
L5	33.504,81	185.584,30	2778,81	33.550,33	185.576,08	2766,65

* Werte vom 10. 8. 1962.

() *Fehler in der Einmessung*

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 2

Differenzen der x-Koordinaten Δx für jedes Jahr [m]

(Korrigiert unter Berücksichtigung der Versetzungen der Stangen)

	10. 10. 1957— 3. 10. 1958	3. 10. 1958— 5. 9. 1959	5. 9. 1959— 15. 9. 1960	15. 9. 1960— 18. 8. 1961	18. 8. 1961— 10. 8. 1962	10. 8. 1962— 25. 8. 1963
A1	11,98	8,57	7,88	6,09	7,93	—
A2	11,59	10,73	9,90	7,76	9,74	1,07
A3	14,32	12,51	12,15	9,74	11,72	11,00
A4	16,37	13,91	13,76	12,53	14,22	12,74
A5	19,09	16,37	16,51	15,78	18,47	17,76
A6	19,62	16,88	17,55	16,44	19,60	19,21
A7	20,95	17,34	17,74	17,73	20,89	20,40
B2	12,83	11,53	11,51	9,68	12,43	10,71
B3	15,66	13,67	14,08	13,26	16,82	15,60
B5	19,15	16,67	17,35	17,84	20,99	20,42
B6	19,75	17,08	17,73	18,46	21,03	21,28
B7	18,63	16,52	17,17	17,93	20,37	20,58
B8	17,31	15,32	15,64	16,50	18,75	19,23
B9	15,76	14,47	—	28,91*	—	—
B10	7,93	4,91	—	11,73*	7,20	6,73
C1	14,35	13,97	13,21	14,03	15,86	18,44
C2	14,53	13,88	13,43	14,29	16,50	16,14
C3	*)	13,74	13,61	15,08	17,45	16,48
C4	16,24	14,74	14,48	15,80	18,34	—
C5	17,02	15,69	15,29	16,76	19,27	19,63
D1	0,79	—	1,49*	0,77	0,79	0,82
D2	2,74	—	3,62*	1,87	1,92	1,93
D3	3,95	—	7,61*	3,87	4,01	4,20
D4	7,00	—	9,46*	9,28		
L2	16,40	14,99	13,52	—	26,60*	*)
L3	17,31	16,34	14,65	15,05	16,36	15,31
L4	13,83	13,27	11,71	13,26	14,57	14,36
L5	—	—	6,10	7,69	8,01	8,69

* Differenzen über 2 Jahre

*) umgefallen

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 3

Differenzen der y-Koordinaten Δy für jedes Jahr [m]

	10. 10. 1957 – 3. 10. 1958	3. 10. 1958 – 5. 9. 1959	5. 9. 1959 – 15. 9. 1960	15. 9. 1960 – 18. 8. 1961	18. 8. 1961 – 10. 8. 1962	10. 8. 1962 – 25. 8. 1963
A1	7,39	6,61	6,55	6,19	6,48	*)
A2	7,94	7,57	7,86	7,31	8,34	6,99
A3	10,59	8,59	9,06	8,85	10,19	9,86
A4	10,62	9,35	9,96	10,03	11,61	11,53
A5	12,21	10,93	11,59	11,99	13,56	13,47
A6	13,02	11,11	11,82	12,38	13,94	13,84
A7	13,52	11,29	11,92	12,34	13,92	14,08
B2	7,94	8,02	7,24	7,32	7,85	8,30
B3	10,82	9,69	9,47	9,54	10,78	10,41
B5	15,08	12,98	12,48	12,89	14,41	14,69
B6	15,75	13,22	12,90	13,57	14,75	15,42
B7	15,44	12,96	12,68	13,39	14,67	15,01
B8	14,86	12,38	12,03	12,93	14,27	14,11
B9	14,53	11,71	—	24,63*	—	—
B10	7,70	14,60	—	2,83*	5,61	5,43
C1	1,54	2,25	3,42	4,92	6,70	4,40
C2	4,98	5,42	6,07	7,28	9,85	10,26
C3	*)	9,84	10,18	11,51	13,86	13,16
C4	14,54	12,96	12,82	13,79	15,79	—
C5	16,66	15,05	14,35	14,98	17,14	17,09
D1	2,48	—	3,48*	1,83	1,46	1,71
D2	5,10	—	7,61*	4,08	4,19	4,51
D3	7,65	—	12,32*	6,78	6,94	7,41
D4	11,86	—	15,70*	14,09	—	
L2	16,40	3,23	4,01	—	11,83*	*)
L3	17,31	−0,43	0,98	3,32	4,20	6,28
L4	13,83	−2,45	−1,31	0,54	1,85	3,22
L5	—	—	−1,62	−1,02	−0,28	0,65

* Differenzen über 2 Jahre

*) umgefallen

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 4

Differenzen der z-Koordinaten Δz für jedes Jahr [m]

(Korrigiert unter Berücksichtigung der Nachbohrungen der Stangen)

	10. 10. 1957 – 3. 10. 1958	3. 10. 1958 – 5. 9. 1959	5. 9. 1959 – 15. 9. 1960	15. 9. 1960 – 18. 8. 1961	18. 8. 1961 – 10. 8. 1962	10. 8. 1962 – 25. 8. 1963
A1	+0,50	+0,81	−1,44	−0,65	−1,70	*)
A2	+0,80	+0,31	−0,66	−0,97	−1,50	—
A3	+0,42	+0,47	−0,98	−0,95	−1,47	−1,96
A4	+0,16	+0,01	−0,96	−1,29	−1,63	−2,71
A5	−0,43	−0,57	−1,18	−1,30	−1,62	−0,96
A6	−0,71	−0,69	−1,33	−1,29	−1,45	−1,65
A7	−0,92	−0,96	−1,26	−1,26	−1,60	−1,76
B2	+0,75	+0,87	+1,24	+1,70	+1,13	+1,07
B3	−0,51	−0,32	+0,31	+0,33	+1,18	+1,29
B5	−1,00	−1,17	−0,72	−0,63	−0,67	−0,61
B6	−1,04	−1,06	−0,66	−0,61	−1,06	−1,11
B7	−1,34	−1,19	−0,86	−0,86	−1,22	−1,19
B8	−1,45	−1,62	−0,90	−1,04	−1,18	−1,13
B9	−1,60	−1,54	—	−1,66*	—	—
B10	+0,58	+0,74	—	+2,13*	−0,92	+0,87
C1	−0,31	−0,56	−0,57	−0,70	—	−1,59*
C2	−0,79	−1,10	−0,67	−1,06	−1,99	−1,77
C3	*)	−1,38	−1,49	−0,62	−1,50	−1,68
C4	−1,10	−1,33	—	−3,30*	−1,57	—
C5	−1,01	−1,29	−0,74	−0,67	−1,50	−1,07
D1	+0,37	—	+0,55*	+0,36	+0,39	—
D2	+0,32	—	+0,77*	+0,68	+0,44	+0,78
D3	+0,35	—	+0,86*	+0,59	+0,46	+0,72
D4	+0,18	—	+1,04*	+0,23		
L2	−1,59	−2,21	+0,35	—	−1,75*	*)
L3	−1,19	−1,06	+1,13	−1,36	−2,02	−1,76
L4	−0,43	−0,32	+0,44	+0,08	−0,32	−0,28
L5	—	—	+1,23	+0,40	+0,65	+0,67

$$\Delta z = z_{(n+1)\ \text{corr.}} - z_n$$

* Differenzen über 2 Jahre

*) umgefallen

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 5

Horizontale Komponente der Fließwege d [m] der Pegel für die Zeit zwischen den Einmessungen

	10. 10. 1957— 3. 10. 1958—	3. 10. 1958— 5. 9. 1959	5. 9. 1959— 15. 9. 1950	15. 9. 1960— 18. 8. 1961	18. 8. 1961— 10. 8. 1962	10. 8. 1962— 25. 8. 1963
A1	14,08	10,85	10,34	8,71	10,35	—
A2	14,07	13,13	12,66	10,71	12,94	—
A3	17,81	15,18	15,18	13,19	15,60	14,90
A4	19,51	16,76	17,01	16,03	18,43	17,40
A5	22,66	19,69	20,18	19,86	22,97	22,30
A6	23,55	20,20	21,20	20,62	24,10	23,73
A7	24,95	20,68	21,40	21,64	25,69	24,85
B2	15,10	14,07	13,65	12,25	14,75	13,59
B3	19,04	16,76	16,97	16,34	20,01	18,80
B5	24,39	21,84	21,38	22,02	25,47	25,16
B6	22,95	21,62	21,93	22,92	27,59	26,28
B7	24,23	21,03	21,36	22,40	25,13	25,50
B8	22,86	19,76	19,75	20,99	23,59	23,80
B9	21,49	18,67	—	38,02*	—	—
B10	11,07	15,44	—	12,25*	9,17	8,69
C1	14,43	14,16	13,65	14,88	17,36	21,16
C2	15,38	14,94	14,75	16,07	19,59	19,21
C3	—	16,95	17,06	18,98	19,97	21,16
C4	21,82	19,67	—	40,43*	24,25	—
C5	23,83	21,77	20,98	22,49	25,83	26,05
D2	5,80	—	8,46*	4,54	4,63	4,97
D3	8,61	—	14,50*	7,82	8,03	8,55
D4	13,77	—	18,36*	16,87	—	—
L2	16,68	15,49	14,11	—	29,16*	—
L3	17,38	16,37	14,73	15,47	17,00	16,64
L4	14,27	13,49	11,79	13,27	14,69	14,72
L5	—	3,04	3,39	7,77	8,04	8,74

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad [\mathrm{m}]$$

Δx siehe Tabelle 2, Δy siehe Tabelle 3

* Fließweg über 2 Jahre

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 6

Nettoeisablationen a [m Eis/Jahr] bei den Pegeln in den einzelnen Haushaltsjahren

	1957/58	1958/59	1959/60	1960/61	1961/62	1962/63
A1	4,61	4,33	1,66	1,46	1,81	2,71
A2	3,93	3,79	2,05	1,90	2,02	2,51
A3	3,81	3,56	2,27	1,81	2,89	2,55
A4	4,15	3,67	2,41	2,16	2,72	2,63
A5	3,82	2,81	1,71	1,88	2,18	2,62
A6	3,25	2,93	1,52	2,10	2,07	2,75
A7	3,10	2,79	1,55	1,87	2,49	2,73
B2	3,64	3,63	2,66	3,26	3,10	3,11
B3	3,02	3,06	1,94	2,72	3,24	3,39
B5	2,64	2,36	1,60	1,58	2,68	2,56
B6	2,68	2,45	1,59	1,69	2,13	2,38
B7	2,33	2,43	1,70	1,58	2,03	2,56
B8	2,94	2,33	1,79	1,81	2,07	2,42
B9	2,94	2,79	—	—	3,66	2,85
B10	3,40	4,01	—	—	3,39	3,32
C1	2,77	3,35	1,18	1,71	1,78	2,25
C2	2,79	2,45	1,60	1,95	2,58	2,55
C3	—	1,50	0,96	1,23	1,79	—
C4	2,49	3,08	1,20	1,29	2,02	2,17
C5	2,74	2,25	1,31	1,31	1,89	2,48
D1	2,48	1,80	0,21	1,31	—	—
D2	2,33	1,89	1,44	1,36	1,97	2,32
D3	2,41	2,03	1,40	1,51	1,99	2,27
D4	2,51	2,74	1,02	—	—	—
L2	4,09	3,52	2,11	2,57	3,02	—
L3	3,93	2,91	1,85	1,93	2,30	2,27
L4	2,92	2,75	1,83	2,19	2,57	2,99
L5	—	4,46*	1,81	2,30	2,71	3,16

* Nettoablation für 2 Haushaltsjahre

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 7

Höhendifferenzen der Gletscheroberfläche Δh [m] der Standorte der Pegel zur Zeit der Einmessungen

	10. 10. 1957— 3. 10. 1958	3. 10. 1958— 5. 9. 1959	5. 9. 1959— 15. 9. 1960	15. 9. 1960— 18. 8. 1961	18. 8. 1961— 10. 8. 1962	10. 8. 1962— 25. 8. 1063
A1	0,7	2,5	2,4	2,5	2,6	1,6
A2	0,7	1,2	2,1	2,2	2,5	—
A3	0,5	1,8	1,8	2,4	2,9	2,8
A4	1,3	1,1	2,0	2,7	2,4	3,3
A5	1,9	1,8	2,4	2,2	2,6	2,7
A6	2,0	2,0	2,2	2,5	2,3	2,8
A7	2,1	2,1	2,2	2,1	2,4	3,0
B2	—1,4	0,9	0,2	0,3	0,3	0,4
B3	1,0	0,9	0,4	—0,1	0,3	0,3
B5	2,1	1,8	1,6	1,6	1,6	1,5
B6	2,0	1,6	1,6	1,8	1,9	2,2
B7	2,1	1,8	1,9	2,0	2,4	2,2
B8	2,4	2,0	2,1	1,8	2,2	2,3
B9	3,0	2,6	—	4,6*	—	5,1*
B10	0,8	—	1,6*	0,8	0,8	0,9
C1	0,8	2,4	1,7	1,8	2,3	2,4
C2	1,2	1,6	1,9	1,6	2,3	2,4
C3	1,8	1,4	1,4	1,1	2,6	2,0
C4	1,5	1,6	1,5	1,8	2,1	2,3
C5	1,6	1,7	1,7	1,8	2,2	2,2
D2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5
D3	0,2	0,4	0,3	0,4	0,6	0,4
D4	0,4	0,3	0,5	1,4	—	—
L2	3,3	2,7	1,9	—	4,1*	4,8
L3	2,8	3,0	2,3	2,2	2,5	2,3
L4	1,6	1,5	1,1	1,3	1,4	1,6
L5	—	1,3*	0,6	1,1	0,9	—0,5

* Differenzen über 2 Jahre

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 8

Vertikalbewegungen Δv [m] der Pegel für die Zeit zwischen den Einmessungen

	10. 10. 1957— 3. 10. 1958	3. 10. 1958— 5. 9. 1959	5. 9. 1959— 15. 9. 1960	15. 9. 1960— 18. 8. 1961	18. 8. 1961— 10. 8. 1962	10. 8. 1962— 25. 8. 1963
A1	1,20	3,31	0,96	1,85	0,90	—
A2	1,50	1,51	1,44	1,23	1,00	—
A3	0,92	2,27	0,92	1,45	1,43	0,84
A4	1,46	1,11	1,04	1,41	0,77	0,59
A5	1,47	1,23	1,22	0,90	0,99	0,99
A6	1,29	1,31	0,87	1,21	0,85	1,15
A7	1,18	1,14	0,94	0,84	0,80	1,24
B2	2,15	1,77	1,44	2,70	1,43	1,47
B3	0,49	0,58	0,71	0,23	1,48	1,59
B5	1,10	0,63	0,88	0,97	0,93	0,89
B6	0,96	0,54	0,94	1,19	0,84	1,09
B7	0,76	0,61	1,04	1,14	1,18	1,01
B8	0,95	0,38	1,20	0,76	1,02	1,17
B9	1,40	1,06	—	2,94*	—	—
B10	1,38	—	—	5,27*	1,72	1,77
C1	0,49	1,84	1,13	1,10	—	1,51*
C2	0,41	0,50	1,23	0,54	0,31	0,63
C3	—	0,02	—0,09	0,48	1,10	0,32
C4	0,40	0,27	—	0,00*	0,53	—
C5	0,59	0,41	0,96	1,13	0,70	1,13
D2	0,72	—	1,37*	0,98	0,79	1,28
D3	0,55	—	1,56*	0,99	1,04	1,12
D4	0,58	—	1,84*	1,63	—	—
L2	1,71	0,49	2,25	—	—	—
L3	1,61	1,94	3,43	0,84	0,48	0,54
L4	1,17	1,18	1,54	1,38	1,08	1,32

* Vertikalbewegung für die Zeit von 2 Jahren (bei der Stange B10 von 3 Jahren).

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 9

Vertikalbewegung Δv [m/Jahr] und Nettoablation a [m Eis/Jahr] der Pegel als Mittelwert für die Jahre 1957/58 und 1958/59

Stange	Δv m Eis/Jahr	a m Eis/Jahr	Stange	Δv m/Jahr	a m Eis/Jahr
A1	2,40	4,47	C1	1,25	3,06
A2	1,58	3,86	C2	0,48	2,62
A3	1,70	3,68	C3	0,02*	1,50*
A4	1,35	3,91	C4	0,35	2,78
A5	1,41	3,32	C5	0,52	2,50
A6	1,36	3,09			
A7	1,22	2,95			
			D2	0,73*	2,33*
			D3	0,56*	2,41*
B2	2,06	3,63	D4	0,59*	2,51*
B3	0,56	3,04			
B5	0,90	2,50	L2	1,14	3,80
B6	0,78	2,56	L3	1,87	3,42
B7	0,72	2,38	L4	1,24	2,84
B8	0,69	2,64			
B9	1,29	2,86			
B10	1,42*	3,40*			

Δv: Vertikalbewegung zwischen dem 10. 10. 1957 und dem 5. 9. 1959 umgerechnet auf einen Zeitraum von 365 Tagen.

a: Mittelwert der Nettoablationen der Haushaltsjahre 1957/58 und 1958/59 in [m Eis/Jahr].

*: die mit * bezeichneten Werte sind keine Mittelwerte, es sind nur die Werte für ein Jahr vorhanden.

Tabelle 10

Meßwerte bei den Steinlinien 3 und 6

LINIE 3

9. August 1957			2. August 1959		
Stein Nr.	Horiz. Abstand v. Muthspitze m	Seehöhe m	Stein Nr.	Horiz. Abstand v. Muthspitze m	Seehöhe m
Rd	1245,78	2509,88	17	1260,66	2505,68
a	1264,56	2518,97	16a	1276,79	2507,92
β	1281,22	2515,21	16	1283,67	2508,96
17	1289,31	2517,74	15	1302,73	2511,27
15	1302,15	2519,65	14	1328,33	2513,68
14	1331,49	2522,00	13	1355,80	2515,84
13	1358,85	2521,64	12	1382,97	2515,62
12	1384,45	2522,09	11	1400,74	2516,44
11	1403,00	2522,45	10	1411,34	2517,40
10	1423,52	2523,37	9	1433,33	2518,26
9	1440,16	2523,84	8	1454,04	2518,78
8	1455,09	2524,37	7	1480,65	2518,26
7	1481,10	2524,40	*a*	1502,15	2517,01
6	1514,25	2522,67	*b*	1527,06	2513,19
			c	1572,02	2508,92

LINIE 6

11. August 1957			1. August 1959		
Stein Nr.	Horiz. Abstand v. Sign. Hoinkes m	Seehöhe m	Stein Nr.	Horiz. Abstand v. Sign. Hoinkes m	Seehöhe m
2	611,14	2684,49	Mo	667,51	2679,50
3	590,94	2685,76	Mo	625,14	2677,79
4	576,36	2686,77	3	596,78	2679,78
5	558,49	2687,86	4	583,35	2680,84
6	542,19	2688,48	5	567,50	2681,96
7	507,50	2690,45	6	553,40	2682,93
8	474,00	2687,77	7	520,31	2682,32
9	446,19	2688,01	8	483,21	2682,29
10	417,70	2687,54	9	446,00	2682,78
11	387,70	2686,92	10	420,82	2682,54
12	352,78	2686,08	11	380,58	2681,19
13	325,18	2685,76	13	319,93	2681,63
14	299,72	2686,44	14	294,63	2680,34
15	281,83	2684,38	15	282,73	2680,06
16	261,83	2683,84	16	264,83	2679,26
17	237,93	2683,14	17	233,94	2678,64
18	204,25	2680,51	18	199,55	2676,76
19	181,15	2677,69	Mo	142,70	2664,73

Mo: Moräne
Rd: Rand

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 11

Koordinaten der Steine der Steinlinie 1

Stein Nr.	11. August 1957			31. August 1959		
	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]
1	34.895,6	186.385,5	2647,76	34.920,5	186.405,5	2639,69
2	34.917,7	186.365,8	2648,38	34.938,0	186.381,3	2640,99
3	34.949,8	186.349,5	2648,09	34.967,3	186.377,5	2639,99
4	34.968,8	186.339,0	2647,88	34.994,0	186.356,5	2639,63
5	34.982,5	186.317,3	2648,79	35.008,3	186.338,0	2640,68
6	34.991,5	186.303,0	2649,59	35.017,0	186.324,7	2641,17
7	35.001,0	186.279,0	2651,18	35.027,5	186.300,5	2642,28
8	35.018,2	186.253,0	2650,23	35.043,8	186.272,7	2641,48
9	35.036,2	186.227,5	2651,01	35.062,5	186.248,5	2642,29
10	35.042,5	186.202,7	2651,99	35.071,3	186.224,7	2643,42
11	35.050,0	186.181,5	2652,75	35.078,5	186.202,5	2644,45
12	35.062,5	186.156,3	2654,06	35.088,7	186.179,0	2645,76
13	35.066,8	186.138,0	2655,08	35.092,0	186.163,7	2447,03
14	35.072,0	186.106,5	2656,51	35.096,5	186.135,3	2648,18
15	35.084,8	186.091,5	2656,18	35.110,5	186.114,0	2646,47

Tabelle 12

Vertikalbewegung und Nettoablation bei der Steinlinie 1

(alle Größen sind in [m] angegeben)

Stein Nr.	Δz	Δl	Δh	a'	Δv	Δv_{365}	a 1957/58	a 1958/59	$\bar{a}$
1	8,07	32,0	3,49	7,67	3,09	1,50	4,07	3,33	3,70
2	7,39	26,3	2,87	7,50	2,98	1,45	3,96	3,32	3,64
3	8,10	33,4	3,64	7,44	2,98	1,45	3,89	3,33	3,61
4	8,25	30,5	3,32	7,37	2,44	1,19	3,80	3,33	3,56
5	8,11	33,0	3,60	7,20	2,69	1,31	3,77	3,32	3,54
6	8,42	33,7	3,67	7,17	2,42	1,18	3,73	3,31	3,52
7	8,90	33,8	3,68	7,20	1,98	0,96	3,72	3,31	3,50
8	8,75	32,5	3,54	7,48	2,27	1,11	3,74	3,36	3,55
9	8,72	33,8	3,68	7,80	2,76	1,34	3,79	3,43	3,61
10	8,57	36,5	3,98	8,00	3,41	1,66	3,85	3,49	3,67
11	8,33	35,7	3,89	8,14	3,70	1,80	3,90	3,55	3,73
12	8,30	34,3	3,74	8,32	3,76	1,83	3,98	3,67	3,82
13	8,05	36,2	3,95	8,43	4,33	2,11	4,20	3,74	3,97
14	8,33	37,8	4,12	8,63	4,42	2,15	4,50	3,85	4,17
15	9,71	34,7	3,78	8,80	2,87	1,40	4,71	3,95	4,33
Mittel	8,40		3,66			1,53			3,69

Δz: Differenz der Höhenkoordinaten der Steine zwischen dem 11. 8. 1957 und dem 31. 8. 1959.
Δl: Horizontale Komponente des Fließweges der Steine vom 11. 8. 1957 bis 31. 8. 1959.
Δh: Höhenunterschied der Gletscheroberfläche zwischen Anfangs- und Endpunkt des Fließweges.
a': Nettoablation zwischen dem 11. 8. 1957 und dem 31. 8. 1959.
Δv: Vertikalbewegung vom 11. 8. 1957 bis 31. 8. 1959.
Δv_{365}: Vertikalbewegung für 365 Tage.
a: Nettoablation der Haushaltsjahre.
$\bar{a}$: Mittlere Nettoablation eines Haushaltsjahres für die Zeit 1957 bis 1959.

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 13

Vertikalbewegung und Nettoablation bei der Steinlinie 3
(alle Größen sind in [m] angegeben)

Stein Nr.	l	Δh	a'	Δv	Δv_{365}	a 1957/58	a 1958/59	$\bar{a}$
16	1282,44	6,25	10,90	4,65	2,26	5,63	4,75	5,19
15	1302,44	8,38	10,95	2,57	1,25	5,66	4,83	5,25
14	1329,91	8,32	11,05	2,73	1,33	5,61	4,92	5,22
13	1357,63	5,80	11,05	5,25	2,55	5,50	5,02	5,26
12	1383,71	6,47	10,75	4,28	2,08	5,26	5,05	5,15
11	1401,87	6,01	10,40	4,39	2,13	5,13	5,00	5,07
10	1421,78	5,54	10,00	4,46	2,16	5,00	4,95	4,98
9	1436,75	5,58	9,98	4,40	2,14	4,92	4,90	4,91
8	1454,56	5,59	10,00	4,41	2,14	4,95	4,95	4,95
7	1480,88	6,14	11,05	4,81	2,33	5,30	5,00	5,15
Mittel		6,41			2,22			5,18

l: Horizontalabstand von Signal Muthspitze Stange.
Δh: Höhendifferenz zwischen dem 9. 8. 1957 und dem 31. 8. 1959.
a': Nettoablation zwischen dem 9. 8. 1957 und dem 31. 8. 1959
Δv: Vertikalbewegung zwischen dem 9. 8. 1957 und dem 31. 8. 1959.
Δv_{365}: Vertikalbewegung für 365 Tage.
a: Nettoablation der Haushaltsjahre.
$\bar{a}$: Mittlere Nettoablation eines Haushaltsjahres für die Zeit 1957 bis 1959.

Tabelle 14

Vertikalbewegung und Nettoablation bei der Steinlinie 6
(alle Größen sind in [m] angegeben)

Stein Nr.	l	Δh	a'	Δv	Δv_{365}	a 1957/58	a 1958/59	$\bar{a}$
18	201,90	3,75	8,57	4,82	2,33	4,56	3,94	4,25
17	235,98	4,50	8,35	3,85	1,87	4,34	3,70	4,02
16	263,33	4,58	8,13	3,55	1,72	4,13	3,50	3,82
15	282,28	4,32	8,00	3,68	1,78	4,00	3,43	3,72
13	322,56	4,13	7,43	3,30	1,60	3,80	3,30	3,55
11	384,14	5,73	6,58	0,85	0,41	3,50	3,24	3,37
10	419,26	5,00	6,23	1,23	0,60	3,41	3,20	3,30
9	446,10	5,23	6,00	0,77	0,37	3,39	3,18	3,28
8	474,00	5,48	5,75	0,27	0,13	3,38	3,15	3,26
6	542,19	5,84	6,11	0,27	0,13	3,42	3,05	3,24
5	558,49	5,41	6,19	0,78	0,38	3,44	3,03	3,24
4	576,36	5,37	6,30	0,93	0,45	3,47	3,00	3,24
3	590,94	5,45	6,37	0,92	0,45	3,49	2,98	3,23
Mittel		4,98			0,94			3,50

l: Horizontalabstand vom Signal „Hoinkes".
Δh: Höhendifferenz zwischen dem 11. 8. 1957 und dem 1. 9. 1959.
a': Nettoablation zwischen dem 11. 8. 1957 und dem 1. 9. 1959
Δv: Vertikalbewegung zwischen dem 11. 8. 1957 und dem 1. 9. 1959.
Δv_{365}: Vertikalbewegung für 365 Tage.
a: Nettoablation der Haushaltsjahre.
$\bar{a}$: Mittlere Nettoablation eines Haushaltsjahres für die Zeit 1957 bis 1959.

Tabelle 15 **Berechnung der Hauptdilationen und ihrer Richtungen für das Jahr 1957/58**

x	y	Δx	Δy	$\frac{\partial \Delta x}{\partial x}$	$\frac{\partial \Delta y}{\partial y}$	$\frac{\partial \Delta x}{\partial y}$	$\frac{\partial \Delta y}{\partial x}$	$\dot{\epsilon}_1$	$\dot{\epsilon}_2$	α
33.640	185.620	15,07	6,45	+0,037	−0,083	+0,006	+0,066	+0,094	−0,186	+15,5°
33.640	185.700	17,77	0,81	+0,026	−0,043	+0,027	+0,063	+0,096	−0,130	+26,5°
33.680	185.660	17,84	5,75	+0,028	−0,069	+0,022	+0,062	+0,087	−0,169	+20,5°
33.720	185.580	17,23	14,71	+0,028	−0,050	+0,011	+0,030	+0,058	−0,102	+ 6,0°
33.720	185.740	17,00	4,21	−0,013	−0,027	−0,032	+0,060	−0,009	−0,071	+31,5°
33.720	185.820	15,16	3,54	−0,020	0,000	−0,019	+0,043	+0,011	−0,051	+65,0°
33.780	185.660	18,35	11,69	−0,003	−0,060	−0,028	+0,050	−0,002	−0,124	+10,5°
33.780	185.740	16,16	7,70	−0,006	−0,029	−0,030	+0,062	+0,004	−0,074	+27,0°
33.780	185.820	14,00	5,86	−0,018	−0,012	−0,025	+0,040	−0,014	−0,046	+56,0°
33.820	185.660	18,33	13.40	+0,002	−0,050	−0,032	+0,036	+0,004	−0,100	+ 2,5°
33.820	185.740	16,12	9,91	+0,005	−0,032	−0,026	+0,050	+0,017	−0,071	+16,5°
33.820	185.820	13,25	7,57	−0,007	−0,028	−0,037	+0,039	+0,021	−0,014	+ 2,5°
33.880	185.660	18,70	14,82	+0,010	−0,038	−0,025	+0,017	+0,021	−0,077	− 5,0°
33.880	185.740	16,81	12,24	+0,018	−0,030	−0,025	+0,029	+0,036	−0,070	+ 2,5°
33.880	185.820	14,36	9,59	+0,026	−0,044	−0,042	+0,028	+0,053	−0,089	− 5,0°
33.880	185.860	12,41	8,00	+0,028	−0,024	−0,050	+0,019	+0,065	−0,057	−16,0°
33 880	185.900	10,55	7,02	+0,011	−0,023	−0,044	+0,017	+0,031	−0,055	−20,0°
33.940	185.700	18,92	14,36	+0,020	−0,030	−0,015	+0,009	+0,040	−0,060	− 3,5°
33.940	185.820	15,93	11,15	+0,027	−0,032	−0,037	+0,018	+0,057	−0,067	−19,0°
33.940	185.900	12,28	7,85	+0,032	−0,030	−0,048	+0,012	+0,074	−0,070	−15,0°
34.000	185.740	19.50	13,96	+0,024	−0,024	−0,014	+0,010	+0,048	−0,048	− 2,5°
34.000	185.820	17,89	12,05	+0,033	−0,028	−0,028	+0,012	+0,068	−0,058	− 7,5°
34.000	185.940	12,28	7,65	+0,039	−0,030	−0,048	+0,018	+0,084	−0,066	−11,5°
34.040	185.780	18,92	13,05	+0,026	−0,021	−0,014	+0,009	+0,052	−0,042	− 3,0°
34.040	185.860	18,27	11,05	+0,039	−0,027	−0,036	+0,009	+0,083	−0,059	−11,0°

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 16

Berechnung der Hauptdilatationen und ihrer Richtungen für das Jahr 1958/59

x	y	Δx	Δy	$\frac{\partial \Delta x}{\partial x}$	$\frac{\partial \Delta y}{\partial y}$	$\frac{\partial \Delta x}{\partial y}$	$\frac{\partial \Delta y}{\partial x}$	$\dot{\epsilon}_1$	$\dot{\epsilon}_2$	a
33.640	185.660	16,00	3,61	+0,042	−0,068	+0,056	+0,087	+0,154	−0,206	+26,0°
33.680	185.620	16,09	9,51	+0,042	−0,070	+0,031	+0,073	+0,125	−0,181	+21,5°
33.680	185.700	17,64	4,46	+0,011	−0,056	+0,003	+0,080	+0,062	−0,152	+25,5°
33.720	185.580	16,85	14,48	+0,021	−0,042	+0,012	+0,023	+0,051	−0,093	+14,5°
33.720	185.700	17,67	7,65	−0,001	−0,061	−0,013	+0,076	+0,026	−0,150	+23,5°
33.720	185.780	16,14	3,81	−0,015	−0,028	−0,029	+0,054	−0,015	−0,071	+33,0°
33.780	185.580	17,43	15,21	+0,007	−0,032	+0,012	+0,008	+0,019	−0,069	+13,5°
33.780	185.660	18,24	12,28	+0,005	−0,044	+0,003	+0,027	+0,016	−0,094	+13,0°
33.780	185.740	16,56	9,35	−0,012	−0,043	−0,032	+0,048	−0,020	−0,090	+14,0°
33.780	185.820	14,00	5,55	−0,018	−0,034	−0,030	+0,048	−0,028	−0,076	+24,5°
33.820	185.660	18,28	13,19	0,000	−0,040	−0,009	+0,020	+0,002	−0,082	+ 8,0°
33.820	185.780	14,85	9,43	−0,007	−0,036	−0,034	+0,035	−0,014	−0,072	+ 0,5°
33.820	185.860	12,33	5,81	−0,012	−0,041	−0,023	+0,037	−0,021	−0,085	+12,5°
33.880	185.660	18,26	14,02	0,000	−0,031	−0,022	+0,009	+0,003	−0,065	−11,5°
33.880	185.700	17,18	12,80	+0,002	−0,031	−0,029	+0,014	+0,007	−0,065	−12,0°
33.880	185.780	14,96	10,70	+0,011	−0,025	−0,028	+0,018	+0,023	−0,051	− 6,5°
33.880	185.820	13,48	9,63	+0,018	−0,030	−0,043	+0,021	+0,041	−0,065	−13,5°
33.880	185.900	10,56	6,21	−0,012	−0,031	−0,033	+0,022	−0,021	−0,065	−15,0°
33.940	185.700	17,59	13,50	+0,012	−0,027	−0,021	+0,010	+0,026	−0,056	− 9,0°
33.940	185.780	15,86	11,62	+0,019	−0,023	−0,022	+0,013	+0,039	−0,047	− 6,0°
33.940	185.820	14,82	10,67	+0,024	−0,028	−0,031	+0,016	−0,050	−0,058	− 8,0°
33.940	185.860	13,14	9,52	+0,031	−0,029	−0,057	+0,019	+0,073	−0,069	−16,0°
33.940	185.900	10,61	7,69	+0,025	−0,052	−0,077	+0,028	+0,064	−0,118	−16,5°
34.000	185.740	17,96	13,00	+0,018	−0,019	−0,014	+0,006	+0,037	−0,039	− 6,5°
34.000	185.820	16,28	11,44	+0,027	−0,021	+0,025	+0,012	+0,056	−0,044	− 8,0°
34.000	185.900	13,21	9,22	+0,050	−0,042	−0,065	+0,021	+0,110	−0,094	−12,5°
34.040	185.700	18,91	13,90	+0,011	−0,021	−0,012	0,000	+0,024	−0,044	−10,0°
34.040	185.780	18,10	12,46	+0,022	−0,014	−0,012	+0,008	+0,044	−0,028	− 2,0°
34.040	185.860	16,47	11,13	+0,029	−0,022	−0,038	+0,014	+0,063	−0,049	−12,0°

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 17

Berechnung der Hauptdilatationen und ihrer Richtungen für das Jahr 1959/60

x	y	Δx	Δy	$\frac{\partial \Delta x}{\partial x}$	$\frac{\partial \Delta y}{\partial y}$	$\frac{\partial \Delta x}{\partial y}$	$\frac{\partial \Delta y}{\partial x}$	$\dot{\epsilon}_1$	$\dot{\epsilon}_2$	a
33.680	185.540	13,50	12,68	+0,017	−0,030	−0,007	+0,032	+0,043	−0,039	+19,0°
33.680	185.620	13,47	8,05	+0,024	−0,070	+0,008	+0,072	+0,078	−0,170	+20,0°
33.680	185.700	14,39	3,85	+0,016	−0,051	0,000	+0,071	+0,063	−0,133	+23,5°
33.720	185.580	14,16	12,78	+0,021	−0,030	+0,002	+0,027	+0,050	−0,068	+15,0°
33.720	185.660	14,95	9,12	+0,018	−0,060	+0,010	+0,055	+0,060	−0,144	+20,0°
33.720	185.780	13,39	3,45	−0,007	−0,021	−0,025	+0,048	−0,001	−0,055	+29,5°
33.720	185.820	12,56	2,95	−0,010	−0,012	−0,018	+0,037	−0,003	−0,041	+42,0°
33.780	185.580	15,22	13,54	+0,012	−0,024	+0,007	+0,006	+0,026	−0,050	+10,0°
33.780	185.620	15,60	12,38	+0,026	−0,032	+0,008	+0,010	+0,055	−0,067	+ 8,5°
33.780	185.700	15,08	9,53	0,000	−0,037	−0 017	+0,030	+0,002	−0,076	− 9,0°
33.780	185.780	13,19	6,00	−0,001	−0,038	−0,032	+0,044	0,000	−0,078	+ 9,0°
33.820	185.660	16,20	11,50	+0,010	−0,031	−0,017	+0,011	+0,020	−0,062	− 4,0°
33.820	185.780	13,29	7,83	+0,006	−0,038	−0,033	+0,039	+0,012	−0,076	+ 3,5°
33.820	185.860	10,75	5,13	+0,011	−0,022	−0,021	+0,028	−0,020	−0,046	+16,0°
33.880	185.660	16,60	12,04	+0,011	−0,021	−0,019	+0,007	+0,024	−0,044	−10,5°
33.880	185.700	15,66	11,10	+0,011	−0,023	−0,026	+0,012	+0,025	−0,049	−11,5°
33.880	185.780	13,94	9,34	+0,013	−0,027	−0,024	+0,019	+0,026	−0,054	− 3,5°
33.880	185.860	10,62	6,95	+0,007	−0,030	−0,046	+0,032	+0,017	−0,063	−11,0°
33.940	185.700	16,43	11,75	+0,014	−0,022	−0,023	+0,010	+0,030	−0,046	− 9,0°
33.940	185.740	15,56	10,96	+0,018	−0,020	−0,022	+0,013	+0,037	−0,041	− 6,5°
33.940	185.780	14,72	10,21	+0,017	−0,019	−0,021	+0,016	+0,034	−0,038	− 4,0°
33.940	185.820	13,77	9,43	+0,019	−0,021	−0,030	+0,018	+0,040	−0,044	− 8,0°
33.940	185.860	12,00	8,42	+0,031	−0,029	−0,077	+0,021	+0,084	−0,080	−21,5°
33.940	185.900	9,37	6,94	+0,014	−0,036	−0,068	+0,027	+0,043	−0,087	−19,5°
34.000	185.740	16,62	11,71	+0,017	−0,018	−0,018	+0,008	+0,036	−0,038	− 8,5°
34.000	185.780	15,90	11,13	+0,021	−0,017	−0,020	+0,012	+0,043	−0,035	− 6,5°
34.000	185.860	13,74	9,60	+0,027	−0,022	−0,035	−0,018	+0,057	−0,047	−10,0°
34.040	185.780	16,67	11,49	+0,022	−0,011	−0,017	+0,007	+0,046	−0,024	− 9,5°
34.040	185.820	15,93	11,08	+0,022	−0,015	−0,024	+0,018	+0,044	−0,030	− 4,5°
34.040	185.900	13,00	9,50	+0,032	−0,029	−0,058	+0,019	+0,075	−0,069	−16,5°
34.040	185.940	9,85	8,00	+0,052	−0,050	−0,104	+0,026	+0,130	+0,126	−18,5°

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 18

Berechnung der Hauptdilatationen und ihrer Richtungen für das Jahr 1960/61

x	y	Δx	Δy	$\frac{\partial \Delta x}{\partial x}$	$\frac{\partial \Delta y}{\partial y}$	$\frac{\partial \Delta x}{\partial y}$	$\frac{\partial \Delta y}{\partial x}$	$\dot{\epsilon}_1$	$\dot{\epsilon}_2$	a
33.640	185.660	15,12	4,76	+0,018	−0,059	+0,010	+0,052	+0,058	−0,140	+19,5°
33.680	185.620	15,71	10,20	+0,024	−0,080	+0,002	+0,081	+0,077	−0,189	+19,0°
33.720	185.580	16,79	14,24	+0,028	−0,025	−0,003	+0,030	+0,063	−0,057	+13,5°
33.720	185.660	17,03	10,23	+0,021	−0,072	0,000	+0,065	+0,063	−0,165	+17,5°
33.720	185.740	15,56	5,78	−0,017	−0,032	−0,026	+0,056	−0,015	−0,083	+32,0°
33.720	185.820	13,36	4,09	−0,019	−0,014	−0,022	+0,041	−0,013	−0,053	+52,0°
33.780	185.620	18,18	14,27	+0,013	−0,037	+0,004	+0,012	+0,029	−0,077	+ 9,0°
33.780	185.740	15,00	8,78	+0,003	−0,043	−0,033	+0,047	+0,008	−0,088	+ 8,5°
33.780	185.820	12,49	6,11	−0,012	−0,021	−0,027	+0,030	−0,024	−0,042	+ 9,5°
33.820	185.660	17,82	13,20	+0,013	−0,042	−0,024	+0,019	+0,027	−0,085	− 4,5°
33.820	185.740	15,27	10,25	+0,010	−0,032	−0,032	+0,029	+0,020	−0,064	− 2,0°
33.820	185.780	13,84	8,72	+0,011	−0,039	−0,037	+0,036	+0,022	−0,078	+ 0,5°
33.880	185.660	18,60	14,03	+0,016	−0,042	−0,023	+0,008	+0,034	−0,086	− 7,0°
33.880	185.740	16,13	11,53	+0,017	−0,027	−0,032	+0,019	+0,036	−0,056	− 8,5°
33.880	185.820	12,90	9,17	+0,023	−0,035	−0,070	+0,030	+0,058	−0,082	−17,0°
33.880	185.860	10,37	7,74	+0,006	−0,036	−0,040	+0,024	+0,015	−0,075	−10,0°
33.940	185.700	18,67	13,51	+0,022	−0,027	−0,026	+0,016	+0,045	−0,055	− 6,0°
33.940	185.780	16,06	11,62	+0,023	−0,023	−0,032	+0,018	+0,048	−0,048	− 8,5°
33.940	185.820	14,50	10,71	+0,028	−0,028	−0,048	+0,022	+0,062	−0,062	−12,5°
33.940	185.900	8,69	7,55	+0,011	−0,046	−0,063	+0,028	+0,032	−0,102	−16,0°
34.000	185.740	18,67	13,54	+0,022	−0,024	−0,030	+0,016	+0,046	−0,046	− 8,5°
34.000	185.780	17,43	12,68	+0,024	−0,021	−0,031	+0,020	+0,049	−0,043	− 6,0°
34.000	185.860	14,38	10,83	+0,037	−0,027	−0,048	+0,025	+0,078	−0,058	−10,0°
34.000	185.940	7,21	7,00	+0,045	−0,067	−0,077	+0,039	+0,096	−0,130	− 9,5°
34.080	185.780	19,00	13,72	+0,015	−0,010	−0,024	+0,003	+0,038	−0,028	−20,0°
34.080	185.820	18,04	13,30	+0,019	−0,012	−0,026	+0,011	+0,041	−0,027	−13,0°
34.080	185.860	17,05	12,72	+0,027	−0,020	−0,033	+0,022	+0,055	−0,041	− 6,5°
34.080	185.900	15,08	11,73	+0,038	−0,028	−0,062	+0,022	+0,091	−0,029	−21,0°

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 19

Berechnung der Hauptdilatationen und ihrer Richtungen für das Jahr 1961/62

x	y	Δx	Δy	$\frac{\partial \Delta x}{\partial x}$	$\frac{\partial \Delta y}{\partial y}$	$\frac{\partial \Delta x}{\partial y}$	$\frac{\partial \Delta y}{\partial x}$	$\dot{\varepsilon}_1$	$\dot{\varepsilon}_2$	a
33.680	185.620	16,51	12,21	+0,028	−0,081	+0,005	+0,056	+0,072	−0,018	+14,5°
33.680	185.700	16,87	5,73	+0,025	−0,064	+0,006	+0,068	+0,077	−0,153	+20,5°
33.720	185.580	17,65	16,93	+0,032	−0,030	0,000	+0,030	+0,071	−0,067	+13,0°
33,720	185.660	17,96	12,11	+0,032	−0,098	+0,006	+0,068	+0,084	−0,216	+15,0°
33.720	185.740	17,23	6,28	0,000	−0,049	−0,035	+0,064	+0,008	−0,104	+15,5°
33.720	185.820	13,49	3,57	−0,012	−0,026	−0,032	+0,042	−0,021	−0,055	+18,0°
33.780	185.580	19,23	17,67	+0,022	−0,038	+0,007	0,000	+0,044	−0,076	+ 3,5°
33.780	185.740	17,77	9,51	+0,015	−0,054	−0,038	+0,044	+0,030	−0,108	+ 2,5°
33.780	185.820	13,17	6,00	+0,006	−0,036	−0,038	+0,043	+0,012	−0,072	+ 3,5°
33.820	185.580	20,00	17,40	+0,018	−0,035	+0,004	−0,012	+0,037	−0,071	− 4,5°
33.820	185.660	19,93	14,60	+0,015	−0,033	−0,010	+0,002	+0,031	−0,067	− 5,0°
33.820	185.780	16,50	9,13	+0,020	−0,046	−0,064	+0,039	+0,045	−0,097	−11,0°
33.880	185.620	21,02	15,55	+0,013	−0,028	−0,003	−0,004	+0,027	−0,057	− 5,0°
33.880	185.660	20,74	14,64	+0,013	−0,022	−0,013	0,000	+0,028	−0,046	−10,0°
33.880	185.700	20,03	13,66	+0,012	−0,031	−0,020	+0,010	+0,025	−0,063	− 6,0°
33.880	185.780	17,83	11,00	+0,015	−0,035	−0,036	+0,025	+0,031	−0,071	− 6,0°
33.880	185.860	12,45	7,80	+0,025	−0,043	−0,074	+0,030	+0,063	−0,099	−16,5°
33.940	185.660	21,50	14,73	+0,012	−0,012	−0,011	+0,005	+0,025	−0,025	− 7,0°
33.940	185.740	19,88	13,25	+0,016	−0,024	−0,024	+0,017	+0,033	−0,049	− 5,0°
33.940	185.820	17,36	11,13	+0,022	−0,031	−0,042	+0,026	+0,046	−0,064	− 8,5°
33.940	185.900	10,57	7,72	+0,029	−0,058	−0,097	+0,038	+0,076	−0,134	−17,5°
34.000	185.700	21,88	14,45	+0,018	−0,010	−0,023	+0,006	+0,041	−0,025	−15,5°
34.000	185.780	19,80	13,34	+0,017	−0,021	−0,030	+0,019	+0,036	−0,044	− 8,0°
34.000	185.860	16,71	11,53	+0,032	−0,024	−0,058	+0,028	+0,072	−0,056	−14,0°
34.000	185.940	13,02	10,12	+0,050	+0,050	−0,100	−0,051	+0,111	−0,111	−13,0°
34.040	185.740	21,58	14,33	+0,015	−0,008	−0,023	+0,004	+0,037	−0,023	−20,0°
34.040	185.820	19,26	13,28	+0,019	−0,020	−0,036	+0,013	+0,044	−0,046	−15,5°
34.040	185.900	14,65	11,46	+0,041	−0,035	−0,108	+0,042	+0,107	−0,095	−20,5°
34.120	185.820	20,85	14,30	+0,018	−0,006	−0,028	+0,007	+0,044	−0,020	−20,5°
34.120	185.860	19,53	14,11	+0,021	−0,009	−0,037	+0,012	+0,051	−0,027	−20,0°
34.120	185.940	14,58	12,80	+0,040	−0,027	−0,093	+0,030	+0,105	−0,079	−21,5°

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 20

Berechnung der Hauptdilatationen und ihrer Richtungen für das Jahr 1962/63

x	y	Δx	Δy	$\frac{\partial \Delta x}{\Delta x}$	$\frac{\partial \Delta y}{\Delta y}$	$\frac{\partial \Delta x}{\partial y}$	$\frac{\partial \Delta y}{\partial x}$	$\dot{\epsilon}_1$	$\dot{\epsilon}_2$	a
33.680	185.660	15,19	7,95	+0,018	−0,037	+0,004	+0,080	+0,081	−0,119	+28,5°
33.720	185.660	15,73	11,00	+0,008	−0,057	−0,012	+0,072	+0,039	−0,137	+21,5°
33.720	185.740	14,23	5,51	0,000	−0,078	−0,017	+0,059	+0,011	−0,167	+14,0°
33.780	185.620	17,85	15,13	+0,028	−0,027	−0,031	+0,030	+0,056	−0,054	0,0°
33.780	185.700	15,57	11,16	+0,014	−0,068	−0,020	+0,032	+0,029	−0,137	+ 4,0°
33.780	185.780	13,47	5,86	+0,004	−0,062	−0,030	+0,052	+0,012	−0,128	+ 9,0°
33.820	185.660	17,55	14,33	+0,024	−0,043	−0,032	+0,012	+0,051	−0,099	− 8,5°
33.820	185.740	15,24	10,02	+0,016	−0,045	−0,028	+0,029	+0,032	−0,090	+ 4,5°
33.820	185.820	12,09	5,82	0,000	−0,041	−0,041	+0,050	+0,001	−0,083	+ 6,0°
33.880	185.620	19.95	15,86	+0,018	−0,022	−0,027	−0,010	+0,051	−0,059	−21,5°
33.880	185.700	17,68	13,24	+0,023	−0,047	−0,029	+0,016	+0,047	−0,095	− 5,5°
33.880	185.780	15,24	10,00	+0,026	−0,033	−0,032	+0,028	+0,052	−0,066	− 2,0°
33.880	185.860	10,62	7,21	+0,010	−0,040	−0,048	+0,041	+0,021	−0,081	− 4,0°
33.940	185.700	19,00	14,08	+0,018	−0,040	−0,029	+0,010	+0,039	−0,083	− 9,0°
33.940	185.780	16,55	11,31	+0,023	−0,028	−0,029	+0,020	+0,047	−0,057	− 5,0°
33.940	185.820	15,28	10,29	+0,027	−0,022	−0,036	+0,024	+0,059	−0,049	−12,0°
33.940	185.900	9,54	7,58	+0,021	−0,051	−0,062	+0,035	+0,047	−0,107	−10,5°
34.000	185.700	19,91	14,31	+0,012	−0,011	−0,025	+0,002	+0,034	−0,033	−22,5°
34.000	185.740	19,02	13,67	+0,019	−0,023	−0,025	+0,018	+0,039	−0,047	− 4,5°
34.000	185.780	17,88	12,64	+0,021	−0,023	−0,028	+0,021	+0,043	−0,047	− 4,5°
34.000	185.860	15,00	10,90	+0,032	−0,024	−0,049	+0,023	+0,070	−0,054	−12,5°
34.000	185.940	8,20	6,82	+0,038	−0,080	−0,084	+0,041	+0,084	−0,168	−10,0°
34.040	185.740	19,60	14,10	+0,013	−0,018	−0,022	0,000	+0,033	−0,043	−17,5°
34.040	185.820	17,41	12,62	+0,019	−0,020	−0,031	+0,020	+0,040	−0,042	− 8,0°
34.040	185.900	13,20	10,77	+0,037	−0,030	−0,076	+0,027	+0,091	−0,077	−18,0°
34.100	185.780	19,58	13,96	+0,013	−0,011	−0,021	0,000	+0,034	−0,030	−20,5°
34.120	185.860	17,93	13,17	+0,022	−0,012	−0,032	+0,009	+0,051	−0,031	−17,0°
34.120	185.940	13,00	11,41	+0,041	−0,072	−0,087	+0,020	+0,100	−0,162	−15,5°
34.160	185.820	19,57	13,73	+0,013	−0,010	−0,018	+0,002	+0,031	−0,025	−17,5°
34.160	185.900	17,36	13,04	+0,031	−0,014	−0,047	+0,008	+0,077	−0,033	−20,5°

©Naturwiss. med. Ver. Innsbruck, download unter www.biologiezentrum.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck

Jahr/Year: 1966

Band/Volume: 54

Autor(en)/Author(s): Schramm Karin

Artikel/Article: Untersuchung der vertikalen Komponente der Gletscherbewegung und der Deformation des Eises im Zungengebiet des Hintereisferners. 75-150