

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XXXV. Jahrgang 1905.

München

Verlag der K. B. Akademie der Wissenschaften

1906.

In Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth).

Zeitliche Änderungen in der Geschwindigkeit der Gletscherbewegung.

Von **A. Blümcke** und **S. Finsterwalder**.

(Eingelaufen 17. Mai.)

Seit man die Tatsache des Fließens der Gletscher erkannt hat, fehlt es nicht an Bestrebungen, neben den örtlichen auch zeitliche Änderungen in der Geschwindigkeit des Fließens festzustellen. Forbes¹⁾ und Agassiz,²⁾ die Begründer die Lehre von der Gletscherbewegung und später Tyndall³⁾ haben den Einfluß der Jahreszeit auf die Gletscherbewegung untersucht. Dauernde Beobachtungen der Geschwindigkeit an der gleichen Stelle eines Gletschers, wie sie von Held am Rhonegletscher, von Seeland⁴⁾ an der Pasterze, von J. Vallot⁵⁾ am Eismeer von Chamounix und von uns gemeinsam mit H. Heß am Vernagtferner, Gepatschferner, Hintereisferner und Gliederferner angestellt wurden, haben gezeigt, daß mehrjährige periodische Änderungen der Gletschergeschwindigkeit vorkommen, wie solche schon durch den Verlauf mancher Gletscherschwankungen wahrscheinlich gemacht wurden. Wenn man von den, wie es scheint, gesetzlos verlaufenden, ganz kurzen Geschwindigkeitsänderungen absieht, kann man hiernach dreierlei

1) J. D. Forbes, Reisen in den Savoyer Alpen, übers. v. Leonhard, Stuttgart 1845, S. 134.

2) L. Agassiz, *Système glaciaire*, Paris 1847, S. 472.

3) J. Tyndall, *Das Wasser in seinen Formen als Wolken und Flüsse, Eis und Gletscher*. Autor. Ausg., Leipzig 1873, S. 109.

4) Veröffentlicht von H. Angerer, *Carinthia* II, 1903, Nr. 6.

5) *Annales de l'observatoire du Mont Blanc*, t. 4 u. t. 5.

Schwankungen in der Geschwindigkeit der Gletscherbewegung unterscheiden:

1. Schwankungen, die sich über einen längeren Zeitraum erstrecken und entsprechende Änderungen in den Größenverhältnissen der Eiszungen im Gefolge haben;
2. Schwankungen in der Dauer weniger Jahre, die keine Änderung der Gletschergröße bewirken;
3. Jahreszeitliche Schwankungen.

In Bezug auf die Schwankungen erster Art haben die obenerwähnten Messungen am Vernagtferner und Gliederferner die bemerkenswertesten Aufschlüsse gebracht. Sie zeigen, daß dem Anwachsen des Gletscher eine, unter Umständen ungeheure Vermehrung der Abflußgeschwindigkeit vorausgeht, sowie, daß noch vor Erreichung des größten Gletscherstandes diese Abflußgeschwindigkeit erheblich zurückgeht. So ist an der gleichen Stelle, nahe am Beginne der Zunge des Vernagtferners die Jahresgeschwindigkeit von 17 m im Jahre 1889 auf über 250 m im Jahre 1899 gestiegen und vom Jahre 1901 bis 1904 wieder auf 50 m gesunken. Dabei war das Gletscherende bis zum Jahre 1897 noch im Rückzug, dann erreichte eine die Zunge herablaufende Schwellung das Gletscherende, dieses ging vor und hat erst im Vorjahre (1904) seinen größten Stand erreicht. In ähnlicher Weise hat sich am Gliederferner in der zentralen Zillertalergruppe in der Zeit von 1885 bis 1897 die Jahresgeschwindigkeit in der Mitte der Zungenlänge von 14 m auf 40 m gesteigert; seither ist sie wieder auf 34 m zurückgegangen. Das Wachsen des Gletscherendes wurde erst nach 1892 bemerkbar und scheint nunmehr seinem Ende nahe zu sein. Es ist wohl zu beachten, daß die genannten Beispiele möglicherweise Ausnahmen darstellen und daß die langsam verlaufenden aber ausgiebigen Größenschwankungen anderer Gletscher, von welchen bis jetzt keine genauer beobachtet werden konnte, vielleicht nur von weit geringeren Geschwindigkeitsschwankungen begleitet sind.

Daß die angeführten Geschwindigkeitsschwankungen nicht die einzigen sind, geht aus der fortgesetzten Beobachtung der

Gletschergeschwindigkeit an ein- und derselben Stelle ohne weiteres hervor. Eine sehr ausgedehnte Reihe von Messungen dieser Art wurde von Oberbergrat F. Seeland in Klagenfurt an der Pasterze und zwar in der Mitte des Querprofils Hoffmannshütte-Glocknerfuß ausgeführt und nach dessen Tode von Herrn Professor Angerer fortgesetzt. Sie ergab für die Jahresgeschwindigkeit: 1882—86 50,4 m, 1886—88 30,6 m, 1888—90 42,0 m, 1890—91 51,1 m, 1891—92 47,5 m, 1892—93 58,0 m, 1893—94 42,7 m, 1894—95 52,9 m, 1895—96 46,4 m, 1896—97 48,5 m, 1897—98 50,0 m 1898—99 60,6 m, 1899—1900 35,4 m, 1900—1902 43,6 m, 1902—1903 48,2 m, im Durchschnitt 1882—1903 46,9 m. Der Gletscher war dabei an seinem unteren Ende in dauerndem Rückzug, nur in den höher gelegenen Teilen konnten gelegentlich vorübergehende Schwellungen festgestellt werden. Ähnliche Verhältnisse haben die dreißigjährigen Messungen am Rhonegletscher, dessen Ende in dieser Zeit ununterbrochen zurückging, zutage gefördert, nur scheinen dort die Geschwindigkeitsänderungen weit regelmäßiger zu verlaufen und mit den vorübergehenden Schwellungen des Gletscherstandes in den oberen Teilen der Zunge in voller Übereinstimmung zu sein. Die seit langem sehnlichst erwartete Veröffentlichung des überaus reichen und wertvollen Materials der Rhonegletschervermessung wird auch hierüber Licht verbreiten.

Die Frage nach den jahreszeitlichen Schwankungen der Gletschergeschwindigkeit hat früh die Aufmerksamkeit der Gletscherforscher erregt, da von der Antwort auf dieselbe die Entscheidung zwischen den damals strittigen Bewegungstheorien abzuhängen schien. Aus den vierziger Jahren des vorigen Jahrhunderts stammen einige ein Jahr umfassende Beobachtungsreihen von Forbes¹⁾ und Agassiz,¹⁾ aus welchen man schloß, daß die Gletscher in der warmen Jahreszeit rascher fließen als in der kalten. Das gleiche Ergebnis fand Steenstrup¹⁾ aneinigen nordischen Gletschern kleineren Umfangs, während Drygalski

¹⁾ Siehe: Heim, Handbuch der Gletscherkunde. Stuttgart 1885, S. 176 u. 177. sowie: Heß, Die Gletscher. Braunschweig 1904, S. 247 u. f.

an den großen Ausläufern des grönländischen Inlandeises keinen Einfluß der Jahreszeit wahrnehmen konnte. Heim glaubte auf Grund des bis dahin bekannten Materials folgende Sätze, allerdings mit vollem Vorbehalt späterer Prüfung ableiten zu können.

- a) Je gewaltiger unter sonst gleichen Bedingungen der Gletscher, desto geringer der Einfluß der Jahreszeit auf die Bewegung.
- b) Je steiler das Gletscherbett unter sonst gleichen Bedingungen, desto schwächer der Einfluß der Jahreszeit.
- c) Im hohen Norden bei viel intensiverer Winterkälte ist der Einfluß der Jahreszeiten verhältnismäßig größer.

Spätere Beobachtungen bezogen sich nur mehr auf den Vergleich von Sommer- und Wintergeschwindigkeit an einzelnen Gletschern und schienen Heims Sätze zu bestätigen. So Westmanns¹⁾ Beobachtungen am Tuolpagletscher im Sulitelma-gebiet und Axel Hambergs²⁾ Beobachtungen am Mikajökul im nördlichen Schweden. Eine vier Jahre umfassende Reihe von Sommer- und Wintergeschwindigkeiten, die Herr J. Vallot³⁾ am Eismeer von Chamounix beobachtete, und eine ähnliche, einjährige Reihe der Herren Gr. und W. S. Vaux⁴⁾ vom Illicillewaetgletscher im Selkirkgebirge in Britisch-Kolumbia führten auf das gleiche Ergebnis. So schien an der Tatsache der größeren Sommerbewegung der Gletscher gemäßigter Zonen kein Zweifel mehr zu bestehen und nur über den Betrag des Unterschiedes waren neue Beobachtungen erwünscht. Entgegenstand eigentlich nur eine Beobachtung am Rhonegletscher, wo im Jahre 1883 in der heißesten Zeit die Eisgeschwindigkeit ebensogroß gefunden wurde als im Jahresdurchschnitt. Die Unterschiede im Überschuß der Sommerbewegung konnten sehr wohl davon herrühren, daß die seit 30 Jahren bevorzugte

1) Beobachtungen über die Gletscher von Sulitelma und Almajalos. Bull. of the geological Inst. of Upsala, Vol. IV, 1900.

2) Om Kvickjocksfjällens glacierer. Geol. Förenigen i Stockholm Förhandl. 1897, Bd. 19, S. 513.

3) Siehe das spätere Zitat S. 130.

4) Les variations périodiques des glaciers VII. rapport. Archives des Sciences phys. et naturelles, Genève 1901, t. XII.

Art, die Geschwindigkeit mittels Steinmarken zu messen, eine durch das Abrutschen der Steine auf der Gletscherfläche bedingte Fehlerquelle in sich schließt, die sich je nach der Böschung der Gletscherfläche und deren Stellung gegen die Sonne in verschiedenem Grade bemerkbar macht; ja es schien nicht ganz ausgeschlossen, daß ein erheblicher Teil der beobachteten Sommerbewegung nur scheinbar ist und der genannten Fehlerquelle zugeschrieben werden muß.

Gründe dieser Art bestimmten uns vor fünf Jahren am Hintereisferner in den Öztaler Alpen eine Messungsreihe zu beginnen, welche neben dem Studium der Ablation hauptsächlich der Untersuchung der zeitlichen Veränderung der Gletschergeschwindigkeit dienen sollte. Die örtliche Verteilung der Gletschergeschwindigkeit war durch frühere Vermessungen in der Hauptsache bekannt; damals war auch eine genaue Karte des Gletschers in 1:10000 aufgenommen worden, auf deren trigonometrisches Netz sich die neuen Beobachtungen gründen konnten.¹⁾ Die Absicht war, die Sommer- und Wintergeschwindigkeit an mehreren Punkten des Gletschers getrennt zu verfolgen. Als Marken wurden ausschließlich Bohrlöcher von 6—8 cm Durchmesser gewählt, die in solcher Tiefe (4—9 m) angelegt wurden, daß sie im Laufe eines Jahres nicht zur Ausschmelzung kamen. In der Nähe des Gletscherendes mußten die Löcher deshalb mindestens 7 m tief gebohrt werden. Zur leichteren Auffindung waren in die Löcher eine Reihe aufeinandergestellter, 2 m langer Holzstangen gesteckt, die zugleich als Ablationspegel dienten. Die Stangen wurden mit Eisenschuhen soweit beschwert, daß sie in Wasser gesetzt eben schwebten. Außerdem lieferten drei früher hergestellte Bohrlöcher von 40 m, 66 m und 86 m Tiefe, die in ähnlicher Weise mit Holzstangen ausgefüllt waren, Bewegungs-Marken. Zuerst gedachten wir unsere Messungen auf die eigentliche Gletscherzunge zu beschränken. Aus anderen Gründen waren aber von Anfang an einige in der Gegend der Firmlinie gelegene ältere

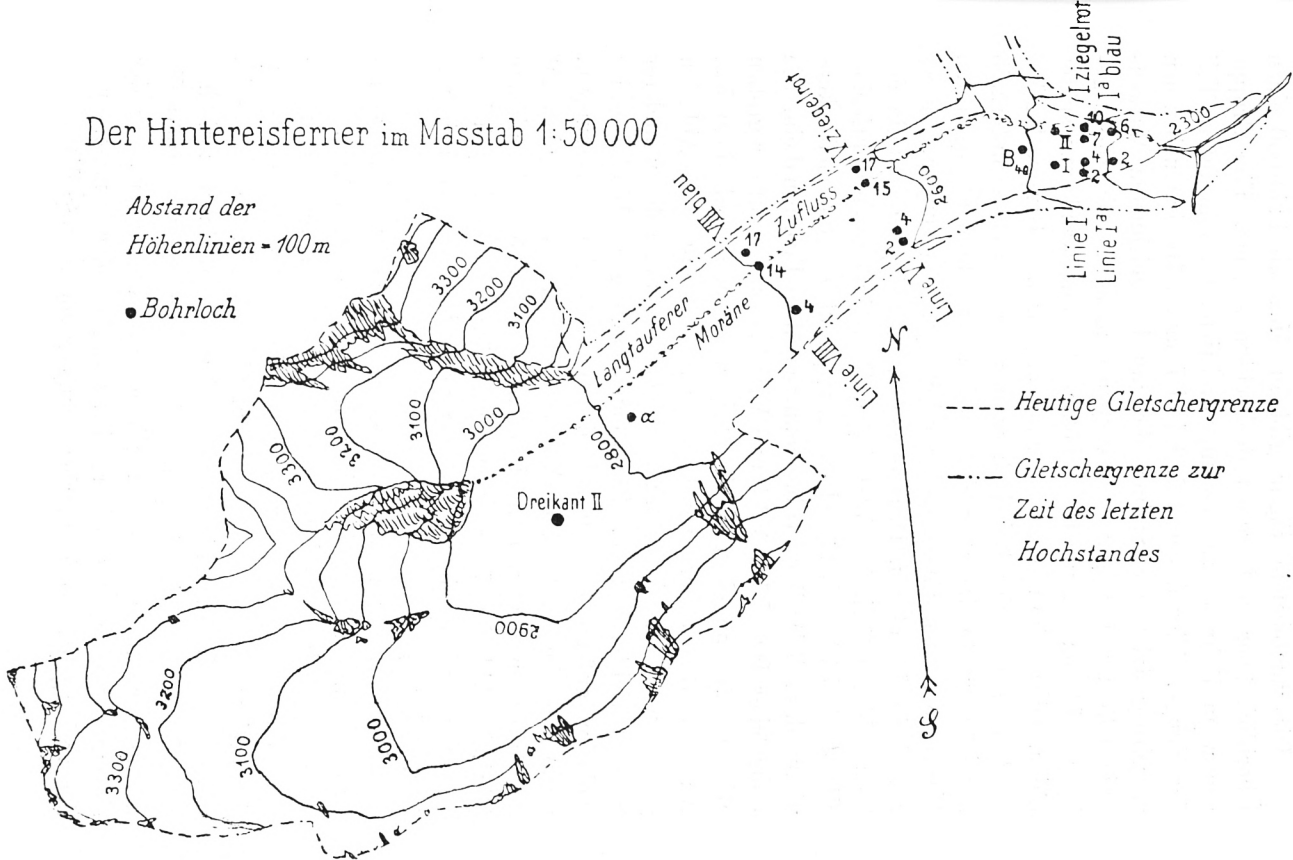
¹⁾ A. Blümcke u. H. Heß, Studien am Hintereisferner. Wiss. Ergänzungshefte des D. u. Ö. Alpenvereins, I. Bd., 2. Heft, München 1899.

Bewegungssignale — vom Schneedruck zusammengestürzte Holzpyramiden — einbezogen worden. Sie erwiesen sich später als von besonderer Wichtigkeit und wurden dann zur genaueren Festlegung noch durch Bohrlöcher ergänzt. Die übrigen Bohrlöcher waren zumeist an Stellen angelegt worden, wo vorher Steinmarken der älteren Bewegungsmessungen lagen, so daß die neuen Messungen als Fortsetzung der alten angesehen werden können. Es war beabsichtigt, die Bohrlöcher Ende Juli, sobald es der Schluß der Mittelschulen dem Einen von uns (Blümcke) erlaubte, und Mitte September, solange die Unterkunft am Hochjochhospiz noch zu benützen war, durch den Andern (Finsterwalder) einzumessen. Verschiedene Umstände brachten es mit sich, daß die Last der Beobachtung im Felde fast ganz auf die Schultern des Erstgenannten fiel, der von den zehn Messungen acht ausführte. Auch die weitläufige Rechnung hat er zumeist erledigt. Die Einmessung der Bohrlöcher erfolgte fast ausschließlich auf dem Wege des Rückwärtseinschneidens nach 4—8 trigonometrischen Punkten und es wurde strenge darauf gesehen, daß bei der Juli- und Septembermessung jeweils dieselben Festpunkte benützt wurden. Das Rückwärtseinschneiden hatte den Vorzug, daß über die Identität des bestimmten Punktes kein Zweifel herrschen konnte, und daß das Aufstellen eigener Signale auf den zu bestimmenden Punkten vermieden wurde. Der Nachteil einer etwas geringeren Genauigkeit der Winkelmessung auf dem Eise und weitläufiger Rechnung mußte eben in Kauf genommen werden. Das benützte trigonometrische Netz, obwohl für die früheren Zwecke voll ausreichend, erwies sich namentlich in den Höhen als etwas ungenau, während die Horizontalpositionen eben genügten. Immerhin überschritten die Fehlerreste bei den ausgeglichenen Winkeln weit die wirklichen Fehler der Winkelmessung und nur der sorgfältigen Einhaltung gleichen Messungsvorganges bei den Juli- und Septemberbestimmungen ist es zuzuschreiben, wenn die Werte für die Sommerbewegung genauer sind, als es nach den mittleren Fehlern der Koordinaten scheinen könnte.

Der Hintereisferner im Masstab 1:50 000

Abstand der Höhenlinien = 100 m

● *Bohrloch*



Blinke u. Finsterwalder: Über Gletscherbewegung.

Die vorstehende Figur gibt im Maßstab 1:50000 einen Überblick über die Lage der Beobachtungsstellen. Eine Gruppe von neun Bohrlöchern, darunter drei tiefe, liegt im untern Teil der Zunge. Vier davon I 2, I 4, I 7 und I 10 sind neben den ziegelrotgestrichenen Steinen der mit I bezeichneten Markenlinie früherer Bewegungsmessungen angelegt. Die tiefer gelegenen Löcher I^a 2 und I^a 6 bei blauen Steinmarken kamen später hinzu. Die zweite in einer Querlinie angeordnete Gruppe V 2 V 4 V 14 V 17 von vier Bohrlöchern befindet sich etwas unterhalb der Längsmittle der Gletscherzunge an Stelle der ziegelroten Marken der Steinlinie V früherer Bewegungsmessungen. Etwas unterhalb des oberen Drittels der Zungenlänge an Stelle der älteren blauen Steinlinie VIII liegen die drei nächsten Bohrlöcher VIII 4 VIII 14 VIII 17. Den Mittelpunkt des Sammelbeckens nimmt das mit Dreikant II bezeichnete frühere Firnsignal ein. Die Bohrlöcher I^a 6, I 10, V 14 und VIII 14 wurden auf der großen Mittelmoräne angelegt. Alle übrigen liegen auf blankem Eis. An allen Bohrlöchern wurde mehrmals des Jahres die Ablation gemessen. Über die Resultate dieser Messung soll an anderer Stelle berichtet werden. Zur Kennzeichnung des Einflusses der Ablation auf die Unsicherheit der Geschwindigkeitsmessungen, wenn dieselbe an Steinmarken erfolgt, sei erwähnt, daß auf der untersten blauen Linie I^a in 2400 m Seehöhe die mittlere jährliche Ablation 7,3 m ausmacht, während dort die jährliche Bewegung nicht einmal das Doppelte hiervon, nämlich nur 13,2 m beträgt.

Wir lassen nun die Ergebnisse der 180 Positionsbestimmungen an den 18 Bohrlöchern in Tabellenform folgen. Dort wo das Bohrloch als Nachfolger einer vorher regelmäßig beobachteten Steinmarke erscheint, sind auch die letzten Lagen der Steinmarke mit aufgenommen. In der fünften Spalte ist unter $V(m)$ die Verschiebung in horizontaler Richtung zwischen zwei Messungen eingetragen. Die sechste Spalte enthält die daraus gerechnete mittlere tägliche Bewegung in cm. In der siebenten Spalte ist ein Vergleich zwischen der Sommer- und der vorhergehenden Winterbewegung gezogen ($S \lesseqgtr W$).

Punkt bei 2 Linie 1^a.

	x	y	z	V m ¹⁾	v cm ²⁾
1. Aug. 00	5455,73 ± 0,18	11664,36 ± 0,12	2412,5	3,16	6,73
17. Sept. 00	5452,62 ± 0,18	11664,89 ± 0,12	—	13,05	4,20
25. Juli 01	5439,60 ± 0,09	11666,11 ± 0,06	2406,1	12,24*	3,38
22. Juli 02	5427,30 ± 0,07	11666,00 ± 0,05	2400,2	2,11	3,77
16. Sept. 02	5425,27 ± 0,43	11666,57 ± 0,27	—	8,25	2,70
18. Juli 03	5417,68 ± 0,31	11669,81 ± 0,29	2393,2	1,81	3,69
5. Sept. 03	5415,96 ± 0,23	11670,37 ± 0,21	—	10,87	3,39
22. Juli 04	5405,32 ± 0,23	11672,67 ± 0,15	2385,7	1,91	4,25
5. Sept. 04	5403,42 ± 0,28	11672,48 ± 0,19	—	—	—

Punkt bei 6 Linie 1^a Langtauferer Moräne.

2. Aug. 00	5422,07 ± 0,17	11490,33 ± 0,11	2427,6	3,57	7,76
17. Sept. 00	5418,55 ± 0,19	11490,95 ± 0,13	—	12,33	3,97
25. Juli 01	5406,39 ± 0,13	11493,24 ± 0,08	2419,5	15,04	4,15
22. Juli 02	5391,73 ± 0,07	11496,59 ± 0,03	2412,5	—	—
22. Juli 02 ³⁾	5391,51	11497,77	—	2,42	4,32
16. Sept. 02	5389,24 ± 0,43	11498,60 ± 0,27	—	10,33	3,39
18. Juli 03	5379,11 ± 0,23	11500,61 ± 0,13	2404,9	2,46	5,02
5. Sept. 03	5376,79 ± 0,30	11501,42 ± 0,18	—	11,26	3,51
22. Juli 04	5365,80 ± 0,29	11503,85 ± 0,22	2395,8	—	—
22. Juli 04 ³⁾	5366,11	11502,67	—	1,88	4,18
5. Sept. 04	5364,30 ± 0,31	11503,19 ± 0,25	—	—	—

Punkt 2 Linie 1.

15. Aug. 99	5643,4	11702,6	2439,6	19,32	5,38
9. Aug. 00	5624,44 ± 0,14	11706,10 ± 0,14	2434,0	2,42	6,21
17. Sept. 00	5622,05 ± 0,24	11706,50 ± 0,24	—	12,05	3,79
1. Aug. 01	5610,00 ± 0,16	11706,63 ± 0,13	2432,2	10,70*	3,01
22. Juli 02	5599,39 ± 0,08	11707,76 ± 0,06	2427,8	2,59	4,63
16. Sept. 02	5596,83 ± 0,17	11708,17 ± 0,14	—	8,31	2,70
22. Juli 03	5588,55 ± 0,37	11708,90 ± 0,29	2422,6	1,69	3,76
5. Sept. 03	5586,87 ± 0,52	11709,11 ± 0,37	—	8,57	2,53
9. Aug. 04	5578,48 ± 0,13	11710,86 ± 0,13	2419,4	0,84	3,11
5. Sept. 04	5577,84 ± 0,23	11710,31 ± 0,22	—	—	—

Ein * bedeutet, daß bei Ermittlung von V eine unbedeutende, für das Gesamtergebnis unerhebliche Verschiebung des nachgebohrten Bohrloches gegenüber dem ursprünglichen in Rücksicht gezogen wurde.

1) Verschiebung zwischen zwei Zeitpunkten in m.

2) Tägliche Geschwindigkeit in cm.

3) Neugebohrtes Loch.

Punkt bei 4 Linie I.

	x	y	z	V m ¹⁾	v cm ²⁾
15. Aug. 99	5624,5	11617,7	2446,5	21,54*	6,24
26. Juli 00	5602,95 ± 0,16	11618,50 ± 0,14	2441,6	4,32	8,15
17. Sept. 00	5598,70 ± 0,17	11619,26 ± 0,10	—	15,94	5,01
1. Aug. 01	5582,97 ± 0,16	11622,04 ± 0,13	2434,9	15,10*	4,25
22. Juli 02	5568,29 ± 0,08	11624,98 ± 0,06	2430,1	3,69	6,59
16. Sept. 02	5564,67 ± 0,17	11625,69 ± 0,14	—	12,62	4,04
25. Juli 03	5552,28 ± 0,37	11628,11 ± 0,29	2423,5	2,46	5,86
5. Sept. 03	5549,90 ± 0,52	11628,74 ± 0,37	—	13,51	4,21
22. Juli 04	5536,57 ± 0,16	11630,92 ± 0,13	2416,1	2,06	4,58
5. Sept. 04	5534,66 ± 0,23	11631,68 ± 0,19	—	—	—

Punkt bei 7 Linie I.

15. Aug. 99	5596,4	11498,0	2443,3	20,77	6,00
25. Juli 00	5576,14 ± 0,25	11502,38 ± 0,26	2441,5	4,43	8,20
17. Sept. 00	5571,80 ± 0,17	11503,38 ± 0,10	—	15,38	4,91
27. Juli 01	5556,74 ± 0,11	11506,34 ± 0,09	2435,6	16,39	4,56
22. Juli 02	5541,32 ± 0,08	11511,86 ± 0,06	2430,7	3,06	5,46
16. Sept. 02	5538,27 ± 0,17	11512,12 ± 0,14	—	12,90	4,18
22. Juli 03	5525,62 ± 0,37	11514,65 ± 0,29	2426,1	2,92	6,50
5. Sept. 03	5522,78 ± 0,52	11515,32 ± 0,37	—	13,99	4,36
22. Juli 04	5509,07 ± 0,18	11518,10 ± 0,13	2419,6	2,34	5,20
5. Sept. 04	5506,93 ± 0,33	11519,04 ± 0,19	—	—	—

Punkt bei 10 Linie I.

St. ³⁾ 15. Aug. 99	5606,3	11381,7	2450,3	38,29	10,97
St. 30. Juli 00	5590,96	11416,78	2446,0	—	—
B. ⁴⁾ 30. Juli 00	5591,82 ± 0,44	11412,34 ± 0,18	2446,6	3,48	7,10
17. Sept. 00	5588,36 ± 0,17	11412,71 ± 0,10	—	14,96	4,72
31. Juli 01	5573,61 ± 0,14	11415,23 ± 0,09	2443,0	14,05*	3,98
19. Juli 02	5560,22 ± 0,21	11419,01 ± 0,35	2439,6	3,93	6,66
16. Sept. 02	5556,40 ± 0,15	11419,94 ± 0,24	—	10,87	3,49
25. Juli 03	5545,74 ± 0,37	11422,09 ± 0,29	2436,9	2,73	6,50
5. Sept. 03	5543,08 ± 0,52	11422,70 ± 0,37	—	13,07	4,07
22. Juli 04	5530,46 ± 0,36	11426,09 ± 0,55	2432,5	2,08	4,62
5. Sept. 04	5528,42 ± 0,34	11426,51 ± 0,50	—	—	—

1) Verschiebung zwischen zwei Zeitpunkten in m.

2) Tägliche Geschwindigkeit in cm.

3) Stein.

4) Bohrloch.

Bohrloch I (60 m tief). .

	x	y	z	V m ¹⁾	v cm ²⁾
18. Aug. 99	5777,20 ± 0,20	11622,66 ± 0,17	2469,7	23,04	6,60
2. Aug. 00	5754,24 ± 0,11	11624,55 ± 0,06	2465,0	3,15	6,85
17. Sept. 00	5751,09 ± 0,04	11624,75 ± 0,09	—	16,38	5,32
22. Juli 01	5734,76 ± 0,06	11626,05 ± 0,07	2460,0	17,13	4,70
22. Juli 02	5717,81 ± 0,13	11628,61 ± 0,20	2456,3	3,11	5,54
16. Sept. 02	5714,73 ± 0,24	11629,91 ± 0,35	—	14,07	4,51
25. Juli 03	5700,72 ± 0,49	11630,28 ± 0,47	2451,0	2,91	6,93
5. Sept. 03	5697,83 ± 0,36	11630,58 ± 0,34	—	16,21	5,03
23. Juli 04	5681,72 ± 0,23	11632,40 ± 0,24	2445,1	2,37	5,39
5. Sept. 04	5679,38 ± 0,12	11632,79 ± 0,29	—	—	—

Bohrloch II (86 m tief).

16. Aug. 99	5758,43 ± 0,26	11423,29 ± 0,30	2469,0	23,11	6,62
2. Aug. 00	5735,34 ± 0,06	11424,24 ± 0,11	2463,2	3,11	6,76
17. Sept. 00	5732,23 ± 0,10	11424,31 ± 0,15	—	17,21	5,50
27. Juli 01	5715,04 ± 0,06	11425,02 ± 0,09	2456,9	18,08	5,02
22. Juli 02	5697,16 ± 0,20	11427,70 ± 0,15	2452,9	3,22	5,75
16. Sept. 02	5693,96 ± 0,13	11428,08 ± 0,09	—	14,12	4,56
23. Juli 03	5679,88 ± 0,22	11429,16 ± 0,41	2447,9	2,88	6,55
5. Sept. 03	5677,01 ± 0,24	11429,42 ± 0,48	—	15,80	4,89
23. Juli 04	5661,30 ± 0,26	11431,06 ± 0,52	2441,6	2,55	5,80
5. Sept. 04	5658,78 ± 0,23	11431,44 ± 0,46	—	—	—

Bohrloch B 40 (40 m tief).

28. Aug. 95	5991,05 ± 0,08	11552,97 ± 0,09	2505,8	27,67	8,41
23. Juli 96	5963,39 ± 0,33	11553,69 ± 0,33	2501,7	32,44	8,87
24. Juli 97	5930,95 ± 0,15	11554,00 ± 0,45	2496,6	30,97	8,28
2. Aug. 98	5900,00 ± 0,05	11555,16 ± 0,16	2489,8	56,80	7,78
2. Aug. 00	5843,26 ± 0,09	11557,71 ± 0,40	2476,0	3,76	8,17
17. Sept. 00	5839,55 ± 0,20	11558,32 ± 0,29	—	18,93	6,05
27. Juli 01	5820,64 ± 0,06	11559,28 ± 0,02	2470,2	19,75	5,49
22. Juli 02	5800,97 ± 0,25	11561,06 ± 0,25	2465,8	3,49	6,23
16. Sept. 02	5797,49 ± 0,25	11561,35 ± 0,25	—	17,04	5,50
23. Juli 03	5780,46 ± 0,35	11561,90 ± 0,47	2460,2	3,08	7,00
5. Sept. 03	5777,39 ± 0,37	11562,10 ± 0,34	—	19,40	6,03
23. Juli 04	5758,07 ± 0,25	11563,81 ± 0,38	2454,5	2,89	6,57
5. Sept. 04	5755,20 ± 0,20	11564,18 ± 0,37	—	—	—

1) Verschiebung zwischen zwei Zeitpunkten in m.

2) Tägliche Geschwindigkeit in cm.

Punkt 2 Linie V.

	x	y	z	V m ¹⁾	v cm ²⁾
26. Aug. 99	6866,0	12030,1	2608,6	33,07	9,73
1. Aug. 00	6836,03 \pm 0,21	12016,16 \pm 0,30	2604,5	4,45	9,47
17. Sept. 00	6832,14 \pm 0,21	12014,00 \pm 0,30	—	21,62*	6,86
29. Juli 01	6512,33 \pm 0,26	12005,15 \pm 0,34	2599,3	26,05	7,24
24. Juli 02	6790,76 \pm 0,24	11990,54 \pm 0,23	2595,1	3,41	6,43
15. Sept. 02	6787,65 \pm 0,16	11989,15 \pm 0,15	—	24,99	8,06
22. Juli 03	6764,94 \pm 0,31	11978,73 \pm 0,37	2591,3	3,05	6,93
4. Sept. 03	6762,04 \pm 0,27	11977,78 \pm 0,30	—	29,57	9,09
25. Juli 04	6735,65 \pm 0,32	11964,45 \pm 0,41	2585,9	2,58	6,27
4. Sept. 04	6733,39 \pm 0,39	11963,21 \pm 0,45	—	—	—

Punkt 4 Linie V.

26. Aug. 99	6888,7	11950,5	2617,2	39,58	11,85
26. Juli 00	6853,49 \pm 0,26	11932,39 \pm 0,24	2613,0	5,51	10,40
17. Sept. 00	6848,53 \pm 0,21	11930,01 \pm 0,10	—	23,44*	7,44
29. Juli 01	6827,40 \pm 0,28	11919,67 \pm 0,24	2608,1	26,55	7,36
24. Juli 02	6803,50 \pm 0,24	11908,12 \pm 0,23	2605,0	3,42	6,45
15. Sept. 02	6800,34 \pm 0,16	11906,80 \pm 0,15	—	27,19	8,77
22. Juli 03	6775,90 \pm 0,31	11894,89 \pm 0,37	2601,9	3,28	7,45
4. Sept. 03	6772,77 \pm 0,27	11893,91 \pm 0,30	—	32,41	9,97
25. Juli 04	6743,79 \pm 0,32	11879,40 \pm 0,41	2596,8	2,79	6,80
4. Sept. 04	6741,25 \pm 0,39	11878,24 \pm 0,45	—	—	—

Punkt bei 15 auf der Moräne Linie V.

St. ³⁾ 26. Aug. 99	7087,2	11608,5	2618,5	35,94	10,79
St. 25. Juli 00	7058,7	11586,6	2615,7	—	—
B. ⁴⁾ 25. Juli 00	7064,72 \pm 0,14	11577,83 \pm 0,12	2615,6	4,56	8,94
14. Sept. 00	7060,84 \pm 0,14	11575,44 \pm 0,14	—	22,54	7,07
30. Juli 01	7041,41 \pm 0,17	11564,00 \pm 0,14	2610,5	25,45	7,09
24. Juli 02	7019,42 \pm 0,26	11551,18 \pm 0,35	2608,6	3,48	6,57
15. Sept. 02	7016,59 \pm 0,20	11549,16 \pm 0,28	—	24,95	8,05
22. Juli 03	6995,24 \pm 0,20	11536,25 \pm 0,33	2605,6	33,29	7,49
4. Sept. 03	6992,23 \pm 0,34	11534,92 \pm 0,40	—	30,25	9,37
23. Juli 04	6964,86 \pm 0,77	11522,04 \pm 0,56	2602,3	3,48	8,10
4. Sept. 04	6961,71 \pm 0,75	11520,57 \pm 0,55	—	—	—

1) Verschiebung zwischen zwei Zeitpunkten in m.

2) Tägliche Geschwindigkeit in cm.

3) Stein.

4) Bohrloch.

Punkt bei 17 (Langtauferer Zufluss) Linie V.

	x	y	z	V m ¹⁾	v cm ²⁾
25. Juli 00	7099,32 ± 0,14	11500,27 ± 0,12	2605,5	14,83	4,01
30. Juli 01	7086,89 ± 0,17	11492,24 ± 0,24	2599,8	17,18	4,78
24. Juli 02	7073,08 ± 0,26	11482,02 ± 0,35	2598,7	2,29	4,32
15. Sept. 02	7071,48 ± 0,20	11480,38 ± 0,28	—	17,27	5,57
22. Juli 03	7057,60 ± 0,20	11470,11 ± 0,33	2597,1	2,48	5,64
4. Sept. 03	7055,20 ± 0,34	11469,49 ± 0,40	—	21,10	6,53
23. Juli 04	7036,79 ± 0,77	11459,19 ± 0,56	2593,7	2,47	5,75
4. Sept. 04	7034,39 ± 0,75	11458,59 ± 0,55	—		

Punkt bei 4 Linie VIII.

St. ³⁾ 25. Aug. 99	7724,5	12464,1	2707,0	44,9	12,86
St. 9. Aug. 00	7688,1	12437,8	2702,4		
B. ⁴⁾ 9. Aug. 00	7696,25 ± 0,30	12441,03 ± 0,40	2702,4	4,41	12,25
14. Sept. 00	7692,26 ± 0,21	12439,16 ± 0,29	—	30,18*	8,90
19. Aug. 01	7666,98 ± 0,34	12422,48 ± 0,41	2697,1	33,53	9,92
23. Juli 02	7638,55 ± 0,13	12404,71 ± 0,19	2695,4	4,24	7,85
15. Sept. 02	7634,80 ± 0,14	12402,73 ± 0,20	—	35,41	11,39
23. Juli 03	7604,87 ± 0,09	12383,80 ± 0,11	2690,6		
23. Juli 03 ⁵⁾	7605,01	12383,72	—	3,86	9,20
3. Sept. 03	7601,93 ± 0,09	12381,40 ± 0,38	—	40,35	12,38
25. Juli 04	7566,82 ± 0,62	12361,50 ± 0,17	2683,4	3,46	8,44
4. Sept. 04	7563,81 ± 0,19	12359,81 ± 0,05	—		

Punkt bei 14 auf der Moräne Linie VIII.

St. ³⁾ 25. Aug. 99	7928,5	12170,0	2708,4	42,52	12,19
St. 9. Aug. 00	7889,67	12152,62	—		
B. ⁴⁾ 9. Aug. 00	7885,66 ± 0,25	12155,80 ± 0,25	2705,4	4,51	12,53
14. Sept. 00	7881,50 ± 0,47	12154,07 ± 0,46	—	28,44*	8,94
29. Juli 01	7858,08 ± 0,13	12138,04 ± 0,13	2701,1	36,66	10,21
23. Juli 02	7826,66 ± 0,08	12119,16 ± 0,13	2698,1	0,65	5,42
4. Aug. 02	7826,24 ± 0,13	12118,66 ± 0,20	2697,2	3,74	9,12
14. Sept. 02	7822,71 ± 0,48	12117,44 ± 0,41	—	37,05	11,88
23. Juli 03	7793,19 ± 0,13	12095,05 ± 0,23	2693,0	1,98	4,70
3. Sept. 03	7791,24 ± 0,12	12094,74 ± 0,16	—	41,08	12,60
25. Juli 04	7755,59 ± 0,33	12074,33 ± 0,14	2686,2	3,93	9,60
4. Sept. 04	7752,26 ± 0,47	12072,25 ± 0,20	—		

1) Verschiebung zwischen zwei Zeitpunkten in m.

2) Tägliche Geschwindigkeit in cm.

3) Stein.

4) Bohrloch.

5) Neues Bohrloch.

Punkt 17 Langtauferer Zufluss Linie VIII.

	x	y	z	V m ¹⁾	v cm ²⁾
9. Aug. 00	7911,63 ± 0,25	11982,80 ± 0,25	2793,9	3,78	10,50
14. Sept. 00	7908,21 ± 0,47	11981,19 ± 0,46	—	18,59*	5,85
29. Juli 01	7892,50 ± 0,13	11971,43 ± 0,13	2689,9	19,48	5,43
23. Juli 02	7875,75 ± 0,08	11961,48 ± 0,13	2689,1	0,45 } 2,80	3,75 } S(W ³)
4. Aug. 02	7875,72 ± 0,13	11961,03 ± 0,20	2688,0	2,35 }	5,73 } 5,30 }
14. Sept. 02	7873,42 ± 0,48	11960,56 ± 0,41	—	22,20	7,11 } S(W)
23. Juli 03	7857,15 ± 0,13	11945,46 ± 0,23	2685,5	1,69	4,02 } S(W)
3. Sept. 03	7855,49 ± 0,12	11945,28 ± 0,13	—	21,59	6,62 } S(W)
24. Juli 04	7836,56 ± 0,33	11934,90 ± 0,14	2681,4	2,34	5,58 } S(W)
4. Sept. 04	7834,64 ± 0,47	11933,57 ± 0,20	—	—	—

Punkt α am Beginne der Gletscherzunge.

15. Sept. 02	8815,75 ± 2,56	12983,05 ± 2,55	2782,7	45,65	12,93
3. Sept. 03	8778,24 ± 2,25	12957,03 ± 2,30	2781,1	42,00	12,68 } S(W)
30. Juli 04	8741,29 ± 0,28	12937,10 ± 0,23	—	3,15	8,08 }
7. Sept. 04	8738,85 ± 0,32	12935,11 ± 0,28	—	—	—

Dreikant II.

1. Aug. 94	9475,5	13839,2	2855,2	13,4	11,63
9. Aug. 95	9454,8	13801,0	2850,7	36,8	10,55
23. Juli 96	9438,9	13767,9	2847,5	91,7	12,23
10. Aug. 98	9404,3	13683,0	2843,6	52,3	13,73
26. Aug. 99	9390,3	13632,6	2841,3	32,52	9,35 } S(W)
9. Aug. 00	9362,44 ± 0,09	13615,94 ± 0,33	2835,2	2,56	7,10 }
14. Sept. 00	9362,08 ± 0,20	13613,41 ± 0,71	—	29,55	8,64
22. Aug. 01	9346,06 ± 0,20	13588,58 ± 0,84	2834,4	38,54	9,94
15. Sept. 02	9325,72 ± 0,18	13555,75 ± 0,81	2833,6	38,96	11,03
3. Sept. 03	9305,08 ± 0,37	13522,71 ± 1,54	2834,7	36,70	11,07 } S(W)
30. Juli 04	9284,78 ± 0,28	13492,15 ± 1,35	2829,4	2,48	6,56 }
6. Sept. 04	9283,94 ± 0,24	13489,80 ± 1,13	—	—	—

1) Verschiebung zwischen zwei Zeitpunkten in m.

2) Tägliche Geschwindigkeit in cm.

3) Die durchschnittliche Sommergeschwindigkeit ist kleiner als die vorausgehende Wintergeschwindigkeit.

Überblicken wird das Ergebnis vorliegender Zusammenstellung, so ergibt sich zunächst ein unerwartet starker Wechsel der Geschwindigkeit der Gletscherbewegung in längeren wie in kürzeren Zeiträumen. Es hat also die Verschärfung der Beobachtungsmittel nicht, wie erwartet werden konnte, einen stetigeren Verlauf der Gletscherbewegung erkennen lassen. Man wird daraus sicher die Warnung entnehmen, aus kurzen, wenige Tage umfassenden Beobachtungen der Gletscherbewegung bündige Schlüsse zu ziehen. Wir machen hier insbesondere auf die Positionsbestimmungen bei Punkt 14 Linie VIII aufmerksam, wo die tägliche Gletscherbewegung vom 23. Juli 1902 bis 4. August 1902 5,4 cm, vom 4. August bis 14. September 1902 aber 9,1 cm betrug. Man muß sich stets vor Augen halten, daß die Gletscherbewegung tatsächlich in einzelnen Rucken mit vermehrter Geschwindigkeit erfolgt, zwischen welchen Pausen von geringerer Geschwindigkeit liegen.

Untersuchen wir alsdann die Geschwindigkeitsschwankungen längerer Dauer, so ist von vornherein zu bemerken, daß solche, welche eine Unterbrechung des Rückzuges am Gletscherende im Gefolge gehabt hätten, nicht vorgekommen sind. Wohl aber sind Schwankungen aufgetreten, welche sich in Oberflächenschwankungen schwach widerspiegeln. Die Fortpflanzung dieser Geschwindigkeitsschwankungen über die Länge der Gletscherzunge hinweg ist ungemein rasch. Herr Professor H. Heß¹⁾ hat sogar auf Grund früherer, an den acht Steinlinien des Hintereisferners gemachten Beobachtungen geschlossen, daß ein Minimum der Geschwindigkeit im Jahre 1895—96 gleichzeitig eingetreten ist. Auch für das darauffolgende Maximum deuten die seitherigen Messungen ein kaum erkennbares Fortschreiten von oben nach unten an. Am Dreikant II, welches am Ausgang der Firnmulde gelegen ist, trat dieses Maximum 1898—99 auf, während es beim Bohrloch B₄₀ ziemlich nahe am Gletscherende, wenn überhaupt, erst 1899—1900 ankam. Das zufällige Fehlen der Position dieses

¹⁾ H. Heß, Die Gletscher. Braunschweig 1904, S. 295, Fig. 54.

Bohrloches im Jahre 1899 läßt keinen sicheren Schluß zu. Dagegen ist am darauffolgenden Minimum ein deutliches Herabwandern über die Zunge zu erkennen, wie folgende Zusammenstellung ausweist:

Bezeichnung	Dreikant II	Linie VIII	Linie V	Tiefe Bohrlöcher	Linie I u. I ^a
Entf. v. Ende	4800 m	2700 m	1750 m	600 m	350 m
Eintritt d. Min.	1900-01	1900-01	1900-02	1901-1903	1902-1904

Nach unten nimmt die Geschwindigkeit des Herabwanderns ersichtlich stark ab. Im Durchschnitt ist hier die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle 20-150 mal größer als die Bewegung des Eises. Diese Wellen sind somit von ganz anderem Charakter als jene, welche der eine¹⁾ von uns zur mathematischen Darstellung des Verlaufes der Gletscherschwankungen einführt und die man vielleicht als Schwellungswellen bezeichnen könnte. Während jene durch die Geschwindigkeitsänderungen, die die Massenverschiebungen im Gefolge haben, erzeugt und unterhalten werden, sind diese von den Massenverschiebungen unabhängig und gleichen mehr Druckwellen. Beide Arten von Wellen eilen der Eisbewegung voraus, die Schwellungswellen dagegen in viel geringerem Maße als die Druckwellen. Herr J. Vallot²⁾ hat am Eismeer von Chamounix Schwellungswellen gefunden, die etwa vier- bis fünfmal rascher abwärts gehen als das Eis.

Wir wenden uns nun zu den jahreszeitlichen Schwankungen der Gletschergeschwindigkeit. Schon ein flüchtiger Blick auf die sechste Spalte der vorliegenden Tabellen belehrt uns, daß die bisher festgehaltene Ansicht von dem Vorherrschen der Sommerbewegung der Gletscher nicht zutrifft. In der Tat finden wir sie nur für das untere Drittel der Zunge bestätigt. Von der ziegelroten Linie V angefangen bis hinauf zum Dreikant II nahe an der Firnlinie überwiegt die Winterbewegung. Wenn wir insbesondere, so wie es in der letzten Spalte der

1) S. Finsterwalder, Bericht der internationalen Gletscherkommission, Comptes rendus Congrès géologique international de Vienne 1903, S. 161.

2) Annales de l'observatoire du Mont Blanc, Tome IV, S. 141 und Tome V, Pl. 36 u. f.

Tabelle ($S \geq W$) geschehen ist, die Sommerbewegung mit der vorausgegangenen Winterbewegung vergleichen, trifft unter 63 Fällen 60 mal die Regel zu, daß an und oberhalb der Linie V die Sommerbewegung kleiner als die Winterbewegung ($S < W$) unterhalb dagegen größer ($S > W$) ist. Dabei verändert sich das Verhältnis der jahreszeitlichen Geschwindigkeiten durchaus gesetzmäßig. Um das Verhältnis möglichst unabhängig von einer vorgefaßten Meinung zum Ausdruck zu bringen, soll die Sommergeschwindigkeit mit der durchschnittlichen Jahresgeschwindigkeit M verglichen werden und um den Wechsel der Jahresgeschwindigkeit von einem Jahr zum andern auszuschalten, wollen wir die mittlere Jahresgeschwindigkeit, soweit es die Beobachtungen erlauben, aus einem annähernd zweijährigen Zeitraum, welcher die zu vergleichende Sommergeschwindigkeit nach beiden Seiten umfaßt, bilden. Für einige Sommergeschwindigkeiten zu Beginn und sämtliche am Schlusse der Beobachtungsreihe, die mit Herbst 1904 abbricht, ist diese Art der Berechnung allerdings nicht mehr durchführbar. Wir erhalten dann nachstehende Vergleichswerte für die Geschwindigkeiten und darauffolgend die Verhältnisse von Sommergeschwindigkeit zu Jahresgeschwindigkeit ($S : M$).

Mittlere Geschwindigkeiten in cm:

Linie I^a Entfernung vom Gletscherende 300 m.

Punkt bei 2:

1. Aug. 00 - 25. Juli 01	4,53	1. Aug. 00 - 17. Sept. 01	6,73 S)M
25. Juli 01 - 18. Juli 03	3,12	22. Juli 02 - 16. Sept. 02	3,76 S)M
16. Sept. 02 - 22. Juli 04	3,10	18. Juli 03 - 5. Sept. 03	3,69 S)M
5. Sept. 03 - 5. Sept. 04	3,50	22. Juli 04 - 5. Sept. 04	4,25 S)M
	<u>14,25</u>		<u>18,44 S : M = 1,295</u>

Punkt bei 6:

2. Aug. 00 - 25. Juli 01	4,43	2. Aug. 00 - 17. Sept. 00	7,76 S)M
25. Juli 01 - 18. Juli 03	3,84	22. Juli 02 - 16. Sept. 02	4,32 S)M
16. Sept. 02 - 22. Juli 04	3,56	18. Juli 03 - 5. Sept. 03	5,02 S)M
5. Sept. 03 - 5. Sept. 04	3,59	22. Juli 04 - 5. Sept. 04	4,18 S)M
	<u>15,42</u>		<u>21,28 S : M = 1,380</u>

Mittel für die Linie I^a $S : M = 1,337$.

Linie I. Entfernung von Gletscherende 400 m.

Punkt bei 2:

15. Aug. 99 — 1. Aug. 01	4,59	9. Aug. 00 — 17. Sept. 00	6,21 S)M
1. Aug. 01 — 22. Juli 03	3,00	22. Juli 02 — 16. Sept. 02	4,63 S)M
16. Sept. 02 — 9. Aug. 04	2,68	22. Juli 03 — 5. Sept. 03	3,76 S)M
5. Sept. 03 — 4. Sept. 04	2,58	9. Aug. 04 — 4. Sept. 04	3,11 S)M
	<u>12,85</u>		<u>17,71 S:M = 1,378</u>

Punkt bei 4:

15. Aug. 99 — 1. Aug. 01	5,56	26. Juli 00 — 17. Sept. 00	8,15 S)M
1. Aug. 01 — 25. Juli 03	4,34	22. Juli 02 — 16. Sept. 02	6,59 S)M
16. Sept. 02 — 22. Juli 04	4,28	25. Juli 03 — 5. Sept. 03	5,86 S)M
5. Sept. 03 — 5. Sept. 04	4,25	22. Juli 04 — 5. Sept. 04	4,58 S)M
	<u>18,43</u>		<u>25,18 S:M = 1,366</u>

Punkt bei 7:

15. Aug. 99 — 27. Juli 01	5,70	25. Juli 00 — 17. Sept. 00	8,20 S)M
27. Juli 01 — 22. Juli 03	4,46	22. Juli 02 — 16. Sept. 02	5,46 S)M
16. Sept. 02 — 22. Juli 04	4,42	22. Juli 03 — 5. Sept. 03	6,50 S)M
5. Sept. 03 — 5. Sept. 04	4,46	22. Juli 04 — 5. Sept. 04	5,20 S)M
	<u>19,04</u>		<u>25,36 S:M = 1,332</u>

Punkt 10 auf der Langtauferer Moräne:

15. Aug. 99 — 31. Juli 01	7,96	30. Juli 00 — 17. Sept. 00	7,10 S)M
27. Juli 01 — 25. Juli 03	3,99	19. Juli 02 — 16. Sept. 02	6,66 S)M
16. Sept. 02 — 22. Juli 04	3,95	25. Juli 03 — 5. Sept. 03	6,50 S)M
5. Sept. 03 — 5. Sept. 04	4,15	22. Juli 04 — 5. Sept. 04	4,62 S)M
	<u>20,05</u>		<u>24,88 S:M = 1,241</u>

Mittel für die Linie I S:M = 1,329.

Tiefe Bohrlöcher. Mittlere Entfernung vom Gletscherende 700 m.

Bohrloch I (66 m tief):

18. Aug. 99 — 22. Juli 01	6,01	2. Aug. 00 — 17. Sept. 00	6,85 S)M
22. Juli 01 — 25. Juli 03	4,68	22. Juli 02 — 16. Sept. 02	5,54 S)M
16. Sept. 02 — 23. Juli 04	4,91	25. Juli 03 — 5. Sept. 03	6,93 S)M
5. Sept. 03 — 5. Sept. 04	5,08	23. Juli 04 — 5. Sept. 04	5,39 S)M
	<u>20,68</u>		<u>24,71 S:M = 1,196</u>

Bohrloch II (86 m tief):

16. Aug. 99—27. Juli 01	6,13	2. Aug. 00—17. Sept. 00	6,76 S)M
27. Juli 01—23. Juli 03	4,88	22. Juli 02—16. Sept. 02	5,75 S)M
16. Sept. 02—23. Juli 04	4,84	23. Juli 03— 5. Sept. 03	6,55 S)M
5. Sept. 03—5. Sept. 04	5,00	23. Juli 04— 5. Sept. 04	5,80 S)M
	<u>20,85</u>		<u>24,86</u> S:M = 1,193

Bohrloch B₄₀ (40 m tief):

2. Aug. 98—27. Juli 01	7,30	2. Aug. 00—17. Sept. 00	8,17 S)M
27. Juli 01—23. Juli 03	5,55	22. Juli 02—16. Sept. 02	6,23 S)M
16. Sept. 02—23. Juli 04	5,85	22. Juli 03— 5. Sept. 03	7,00 S)M
5. Sept. 03—5. Sept. 04	6,09	23. Juli 04— 5. Sept. 04	6,57 S)M
	<u>24,79</u>		<u>27,97</u> S:M = 1,129

Mittel für die drei tiefen Bohrlöcher S:M = 1,173.

Linie V. Entfernung vom Gletscherende 1750 m.

Punkt bei 2:

26. Aug. 99—29. Juli 01	8,42	1. Aug. 00—17. Sept. 00	9,47 S)M!
29. Juli 01—22. Juli 03	7,53	24. Juli 02—15. Sept. 02	6,43 S)M
15. Sept. 02—25. Juli 04	8,48	22. Juli 03— 4. Sept. 03	6,93 S)M
4. Sept. 03—4. Sept. 04	8,78	25. Juli 04— 4. Sept. 04	6,27 S)M
	<u>33,21</u>		<u>29,10</u> S:M = 0,877

Punkt bei 4:

26. Aug. 99—29. Juli 01	9,76	26. Juli 00—17. Sept. 00	10,40 S)M!
29. Juli 01—22. Juli 03	7,90	24. Juli 02—15. Sept. 02	6,45 S)M
15. Sept. 02—25. Juli 04	9,41	22. Juli 03— 4. Sept. 03	7,45 S)M
4. Sept. 03—4. Sept. 04	9,61	25. Juli 04— 4. Sept. 04	6,80 S)M
	<u>36,68</u>		<u>31,10</u> S:M = 0,849

Punkt bei 15 auf der Langtauferer Moräne:

26. Aug. 99—30. Juli 01	8,64	25. Juli 00—14. Sept. 00	8,94 S)M!
30. Juli 01—23. Juli 03	7,44	24. Juli 02—15. Sept. 02	6,57 S)M
15. Sept. 02—23. Juli 04	8,64	23. Juli 03— 4. Sept. 03	7,49 S)M
4. Sept. 03—4. Sept. 04	9,21	23. Juli 04— 4. Sept. 04	8,10 S)M
	<u>33,93</u>		<u>31,10</u> S:M = 0,917

Punkt 17 auf dem Langtauferer Zufluß:

30. Juli 01—22. Juli 03	4,45	24. Juli 02—15. Sept. 02	4,32	S⟨M
15. Sept. 02—23. Juli 04	6,03	22. Juli 03— 4. Sept. 03	5,64	S⟨M
4. Sept. 03—4. Sept. 04	6,67	23. Juli 04— 4. Sept. 04	5,75	S⟨M
	<u>17,15</u>		<u>15,71</u>	S:M = 0,917

Mittel für Linie V S:M = 0,890.

Linie VIII. Entfernung vom Gletscherende 2700 m.

Punkt bei 4:

25. Aug. 99—19. Aug. 01	10,96	9. Aug. 00—14. Sept. 00	12,25	S⟩M!
19. Aug. 01—23. Juli 03	14,09	23. Juli 02—15. Sept. 02	7,85	S⟨M
15. Sept. 02—25. Juli 04	11,73	23. Juli 03— 3. Sept. 03	9,20	S⟨M
3. Sept. 03—4. Sept. 04	11,94	25. Juli 04— 4. Sept. 04	8,44	S⟨M
	<u>48,73</u>		<u>37,74</u>	S:M = 0,775

Punkt auf der Langtauferer Moräne:

25. Aug. 99—29. Juli 01	10,73	9. Aug. 00—14. Sept. 00	12,53	S⟩M!
29. Juli 01—23. Juli 03	10,79	23. Juli 02—14. Sept. 02	8,30	S⟨M
14. Sept. 02—25. Juli 04	11,78	23. Juli 03— 3. Sept. 03	4,70	S⟨M
3. Sept. 03—4. Sept. 04	12,24	25. Juli 04— 4. Sept. 04	9,60	S⟨M
	<u>45,53</u>		<u>35,13</u>	S:M = 0,771

Punkt auf dem Langtauferer Zufluß:

29. Juli 01—23. Juli 03	6,13	23. Juli 02—14. Sept. 02	5,30	S⟨M
14. Sept. 02—25. Juli 04	6,69	23. Juli 03— 3. Sept. 03	4,02	S⟨M
3. Sept. 03—4. Sept. 04	6,52	25. Juli 04— 4. Sept. 04	5,58	S⟨M
	<u>19,34</u>		<u>14,90</u>	S:M = 0,772

Mittel für Linie VIII S:M = 0,773.

Punkt α am Beginn der Gletscherzunge. Entfernung vom Gletscherende 4000 m.

3. Sept. 03—7. Sept. 04	12,68	30. Juli 04—7. Sept. 04	8,08	S⟨M
				S:M = 0,637.

Dreikant II. Entfernung vom Gletscherende 4800 m.

26. Aug. 99—22. Aug. 01	8,89	9. Aug. 00—14. Sept. 00	7,1	S⟨M
3. Sept. 03—6. Sept. 04	10,78	30. Juli 04— 6. Sept. 04	6,6	S⟨M
	<u>19,67</u>		<u>13,7</u>	

Mittel für Dreikant II S:M = 0,693.

Wie man sieht, ordnen sich die Mittelwerte für S : M je nach der Entfernung vom Gletscherende in eine abnehmende Reihe:

Entf. v. Gletscherende	300 m	400 m	700 m	1750 m	2700 m	4000 m	4800 m
S : M	1,337	1,329	1,173	0,890	0,773	0,637 ?	0,693

Der Wert 0,637 für die Entfernung 4000 m, welcher aus der Reihe herausfällt, ist im Gegensatz zu den anderen nur aus einer einzigen Sommergeschwindigkeit erhalten, die noch dazu nur mit der vorausgehenden Jahresgeschwindigkeit verglichen werden konnte.

Es gilt somit (wenigstens für den Hintereisferner) das Gesetz, daß im unteren Drittel der Gletscherzunge die Sommerbewegung überwiegt, weiter hinauf aber bis in die Nähe der Firnlinie die Winterbewegung; sowie, daß das Verhältnis beider Bewegungen vom Zungenende gegen das Firnfeld zu regelmäßig abnimmt.

Den Grund für diese überraschende Erscheinung finden wir in folgender Überlegung. Die treibende Kraft der Gletscherbewegung ist offenbar die Schwere und der durch sie erzeugte Druck der Firnlager. Der Widerstand gegen die Gletscherbewegung geht von der inneren Reibung der Eismassen und von der Reibung am Gletschergrunde aus. Der Geschwindigkeitszustand des Gletschers entsteht aus dem Zusammenwirken von treibender Kraft und Widerstand. Die winterliche Beschleunigung der Gletscherbewegung in den oberen Teilen ist in erster Linie dem im Winter gesteigerten Firndruck zu verdanken, während die sommerliche Beschleunigung der Bewegung in den unteren Teilen auf verminderten Reibungswiderstand infolge von Durchtränkung des Eises und Gletschergrundes mit Schmelzwasser zurückgeführt werden muß.

Man darf nicht erwarten, das hier ausgesprochene Gesetz bei jeder Einzelbeobachtung bestätigt zu finden, dazu geht die Gletscherbewegung viel zu unregelmäßig vor sich. Wie schon hervorgehoben, setzt sich dieselbe aus vielen einzelnen unregelmäßigen Rucken zusammen, die nur im Durchschnitt eine leidlich regel-

mäßige Bewegung ergeben. Im Winter scheinen die Rucke in den oberen Teilen des Gletschers ergiebiger zu sein, im Sommer in den unteren. Das schließt aber nicht aus, daß für einzelne Rucke das Gegenteil gilt. Das geht insbesondere auch aus den Jahresreihen über die Veränderung der Gletschergeschwindigkeit am Unteraargletscher von Agassiz und am Eismeer von Chamounix von Forbes hervor. Eine Andeutung unseres Gesetzes über die Veränderlichkeit des Verhältnisses von Sommer- zu Wintergeschwindigkeit findet sich übrigens bereits in den langjährigen Beobachtungen des Herrn J. Vallot¹⁾ am Eismeer von Chamounix.

Wir lassen seine Liste von Sommer- und Jahresgeschwindigkeiten folgen und ergänzen sie durch die Entfernung der betreffenden Stelle vom Gletscherende:

Station	Jahr	M (cm)	S (cm)	S : M	Entfernung (m)
Échelets neue Linie	1897	32,6	33,8	1,04	} 1,04 2800
	1898	32,6	33,8	1,04	
" alte Linie	1895	34,0	36,0	1,06	} 1,06 2200
	1897	32,6	33,4	1,03	
" "	1898	33,5	36,2	1,08	} 1850
	1895	32,9	34,2	1,04	
Montanvert	1897	27,7	32,4	1,14	} 950
	1898	32,6	33,5	1,21	
Mauvais Pas	1897	32,6	33,8	1,04 ?	400

Trotz mancher Unregelmäßigkeiten ist eine Abnahme des Verhältnisses S : M mit der Entfernung vom Gletscherende zu erkennen. Im ganzen sind hier die Geschwindigkeiten erheblich größer, der Einfluß der Jahreszeiten ist merklich kleiner als am Hintereisferner, was zu der in der Einleitung angeführten Meinung A. Heims stimmt.

Das oben ausgesprochene Gesetz ist uns erst nach Schluß der Beobachtungsreihe klar geworden. Einige in den Tabellen

¹⁾ J. Vallot, Annales de l'observatoire du Mont Blanc, Tome 4, S. 107 und Tome 5, Pl. 47 u. f. Vallot rechnet der bedeutend tieferen Lage seiner Stationen (1500–1900 m gegen jene am Hintereisferner 2400–2800 m) entsprechend den Sommer zu drei Monaten.

besonders hervorgehobene Unregelmäßigkeiten und Ausnahmen haben uns zu Beginn und im Verlaufe der Untersuchung andere Ansichten nahe gelegt, die zum Teil auch in der Literatur Eingang gefunden haben.¹⁾ Wir ziehen dieselben zu Gunsten der hier vorgetragenen auf dem Gesamtmaterial beruhenden ausdrücklich zurück.

Zum Schlusse sprechen wir noch dem Zentralausschusse des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins, der unsere Untersuchungen jahrelang ausgiebig unterstützte, den wärmsten Dank aus.

¹⁾ H. Heß, Die Gletscher, S. 250 und Rapport de la Commission internationale des Glaciers Archives de Genève 1901, t. 12.

Berichtigung.

Auf S. 85, 92 u. 93 ist der Fundort der Korallen irrtümlich La Papa statt La Popa geschrieben.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München](#)

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: [1905](#)

Autor(en)/Author(s): Blümcke Adolf, Finsterwalder Sebastian

Artikel/Article: [Zeitliche Änderungen in der Geschwindigkeit der Gletscherbewegung 109-131](#)