

Die Resultate

der zweiten

Gepatschfernervermessung.

Von

Dr. Georg Kerschensteiner,

k. Gymnasiallehrer.

Programm des kgl. bayer. humanistischen Gymnasiums Schweinfurt

für das

Schuljahr 1892/93.



Schweinfurt.

Druck von Fr. J. Reichardt.

1893.

95C
31 (1893)



Einleitung.

Trotz der in neuerer Zeit wiederum energischer aufgenommenen Untersuchungen über die mannigfach gearteten Bewegungsverhältnisse grosser Gletschermassen und über die Art und die Quantität des Substanzverlustes erfreuen wir uns auch heute noch nicht tieferer Kenntnisse über diese Erscheinungen. Zwar liegen sowohl in Hinsicht auf die absolute Grösse der Oberflächengeschwindigkeit an verschiedenen Orten des Gletschers, wie auch in Hinsicht auf ihre Veränderlichkeit nach Jahreszeit, Temperatur und Infiltration mannigfache Einzelbeobachtungen vor; aber wir besitzen noch wenig Aufschlüsse über die Variabilität der Geschwindigkeit mit der Neigung und dem Querschnitte, wir haben nur Vermutungen über die Ursache der bedeutenden Geschwindigkeitsänderungen bei eintretenden Vorstössen, wie sie die nächste Zukunft bringen wird, und sind völlig im Ungewissen über die Geschwindigkeitsverhältnisse in der Tiefe des Gletschers.

Diesbezügliche Gesetze haben wir bisher meist aus den Erscheinungen unserer Wasserläufe übertragen. Was die Ablation betrifft, so sind seit Agassiz und Schlagintweit keine umfangreicheren Untersuchungen vorgenommen worden und eine sichere Kenntnis des jährlichen Substanzverlustes gestatten überhaupt erst die sorgfältigen Methoden der neuesten Zeit zu erwerben,*) wie sie in unsern Ostalpen durch Pfaundler und besonders durch Finsterwalder und Schunk durchgebildet wurden. Erst auf Grund dieser immerhin mühevollen kartographischen Aufnahmen in Verbindung mit Geschwindigkeitsmessungen können Substanzverlust, Querschnitte und Volumina der bewegten Massen mit Sicherheit festgelegt und damit die Grundlagen geschaffen werden zu einem Gesetze für die so interessanten Bewegungserscheinungen. Darin soll auch der Wert einer Einzeluntersuchung bestehen, die im Vergleich zu der bedeutenden Arbeitsleistung, welche sie beansprucht, oft nur bescheidene Resultate zu Tage fördert.

*) Die topograph. Aufnahme des Obersulzbachgletschers durch Professor Richter fällt in das Jahr 1880.

Die vorliegende Vermessung wurde in der Zeit vom 22. Juli bis 6. August 1891 von dem Verfasser vorgenommen, also 5, beziehungsweise 4 Jahre, nachdem Professor Finsterwalder sich der ersten Vermessung unterzogen hatte, deren Resultate in der Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins 1888 niedergelegt sind. Sie wurde durch den Centralausschuss des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins in gütiger Weise durch eine Zuwendung von 300 Mark unterstützt, wofür ich hier wiederholt meinen Dank ausspreche. Über den Gang der Arbeit habe ich bereits in den Mitteilungen (Neue Folge B. VIII, 1892) und in der Beilage der Allgemeinen Zeitung (1892 No. 197) berichtet. Die dort bekannt gegebenen Resultate einer wie ich bereits damals erwähnte approximativen Berechnung erleiden indes eine teilweise Berichtigung, insoferne nunmehr an ihre Stelle die Resultate der genauen Berechnungen treten müssen.

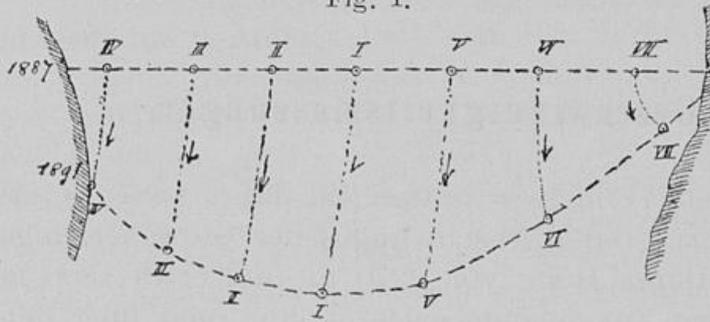
Die Arbeit stellte mir drei Hauptaufgaben: Einmal die Messung der Geschwindigkeit des Gletschers, zu welchem Zwecke sowohl die gegenwärtige Lage der alten Steinlinie aufgenommen, als auch eine neue gelegt wurde. Sodann die Bestimmung des Substanzverlustes von der Stirne des Gletschers bis zur Steinlinie, eine Aufgabe, die durch die topographische Aufnahme der unteren Zunge, sowie des verlassenen Terrains ihre Erledigung fand. Endlich Vornahme einer Triangulation behufs Anschluss der Finsterwalder'schen Aufnahme an die k. k. Landesvermessung. Nebenbei wurde auch der Weißsseeferner einer eingehenden Besichtigung unterzogen und die dort von Professor Finsterwalder gesetzte Gletschermarke nachgemessen. Als Instrumente dienten mir zwei Theodolithe, von denen der eine mir gehörige 20" Ablesung gestattete, der andere, Eigentum des k. Flussbauamtes Schweinfurt, eine solche von 1 Minute. Der letztere kam indes nur bei Aufnahme der Steinlinien in Verwendung. Bei den topographischen Aufnahmen unterstützte mich Herr Dr. Grätz aus Schweinfurt in sehr dankenswerter Weise.

A. Geschwindigkeitsmessungen.

Die ersten Vermesser hatten im Jahre 1887 unterhalb des obern steilen Abschwunges der Gletscherzunge in einer mittleren Höhe von 2270 m und etwa 1800 m vom damaligen Zungenende entfernt eine quer über den Gletscher führende gerade Steinlinie gelegt, von welcher 7 Steindauben genau einvisiert waren. Die 4 bis 5 Steine jeder Daube trugen je die gleiche Nummer mit roter Ölfarbe aufgetragen. Schon bei Beginn der Vermessung hatte ich gelegentlich der ersten Terrainbesichtigung die neue Lage der Steinlinie verfolgt, die Zerstreung der einzelnen Nummernsteine einer Daube gemessen und skizziert, und so konnte ich 8 Tage später, als nach Beendigung der Detailaufnahme der untern Zunge die Lage der Steinlinie durch Vorwärtseinschneiden von zwei festen Punkten fixiert werden sollte, dem Diener die nötigen Massregeln für das Beschreiten der Steinlinie geben. Insbesondere erhielt er den Auftrag, die Signalstange jedesmal an dem am wenigsten vorgerückten Nummernsteine festzustellen, da derselbe am wenigsten zur Vermutung Anlass geben konnte, durch Abrutschung in seine Lage gekommen zu sein. Aus den bezüglichlichen, mit 2 Theodolithen an 2 Standpunkten ausgeführten Visuren ergab die Rechnung folgende Ordinaten für die 7 Nummernsteine:

Nummer	Abscisse x	Ordinate y
IV	176,7	150,3
III	263,6	209,1
II	342,8	237,7
I	434,6	255,3
V	554,4	246,4
VI	699,4	170,1
VII	830,2	62,8

Fig. 1.



Die Steinlinie im Jahre 1887 und 1891 mit den mutmasslichen Wegen der Steindauben.

Masstab 1 : 10000.

1887 und 1891, nebst den wahrscheinlichen Wegen, auf welchen die einzelnen Steindauben thalabwärts vorgeschritten sind. Dabei ist der Koordinatenursprung der in der Finsterwalderschen Karte mit 2344,6 bezeichnete Punkt an der östlichen Moräne, der eine Endpunkt der für die Messung gewählten Basis; die Richtung der x-Axe fällt mit der Richtung der ursprünglich gelegten Steinlinie zusammen.

Aus den Koordinaten ergibt sich:

- a) Die in der Mitte des Gletschers befindliche Stein-
daube zeigt die erhebliche jährliche Geschwindig-
keit von 63,8 m oder eine tägliche von 17,5 cm.
(Maximalgeschwindigkeit);
- b) Die mittlere Geschwindigkeit der ganzen Stein-
linie ist 48,6 m im Jahre oder 13 cm. täglich. (Sie
ist berechnet aus dem von der Steinlinie in den
vier Jahren zurückgelegten Flächenraum von
1447,9 a dividiert durch die mittlere Breite von
744 m; vergl. Finsterwalders Vermessung des
Gliederferners, Zeitschr. des Deutschen u. Österr.
Alpenvereins 1888);
- c) Der rechte Gletscherrand zeigt trotz des Um-
standes, dass er der concaven Seite der dort
starken Krümmung der Gletscherzunge angehört,
eine 2,5 mal grössere Geschwindigkeit, als der
rechte, an welchem die Zunge convex gekrümmt ist;

Daraus er-
geben sich
die in neben-
stehender
Figur ange-
deuteten
Lagen der
Steinlinien
in den zwei
Beobach-
tungsjahren

- d) Das Verhältnis der Randgeschwindigkeit zur Achsengeschwindigkeit ist am rechten Ufer nur 1:4, am linken aber sogar nur 3:5.

Was zunächst die unter a und b mitgeteilten absoluten Masse der Geschwindigkeit betrifft, so ist ein Vergleich mit entsprechenden Masszahlen anderer Gletscher wünschenswert. Indes sind derartige Beobachtungen in unsern Ostalpen keineswegs reichhaltig. Denn seit den Schlagintweitschen Messungen, deren Resultaten sie selbst nur die ganz untergeordnete Bedeutung von allgemeinen Näherungswerten beilegen (vgl. Untersuchungen über die physikal. Geographie der Alpen 1850 Seite 114) hat nur Seeland und Finsterwalder verwertbares Material geliefert. Und selbst solche gute verbürgte Werte können nicht unmittelbar verglichen werden. Denn die Geschwindigkeit strömender Eismassen wird durch ungleich mehr Ursachen modifiziert, als die Geschwindigkeit strömender Wassermassen.

Neben den in beiden Fällen wirksamen Faktoren wie Form und Grösse des Querschnittes, mittlere Neigung und Lage des Punktes zu den beiden Ufern spielt bei einem sonst gleichmässigen Gletscherbett einmal die Lage des Punktes zur Firnlinie und Stirne, dann aber auch der Witterungscharakter der Beobachtungsjahre und am allermeisten dessen zeitliche Lage zu den beiden stationären Zuständen des Gletschers (Maximum und Minimum) eine bedeutende Rolle. Nur unter Berücksichtigung dieser Punkte sind die bisher bekannt gewordenen Werte vergleichbar. Da indessen das zur Verfügung stehende Material viel zu spärlich ist, als dass es erlaubte, weitergehende Schlüsse zu ziehen, so sehe ich davon ab, die bezüglichen Masszahlen hier zu reproduzieren.

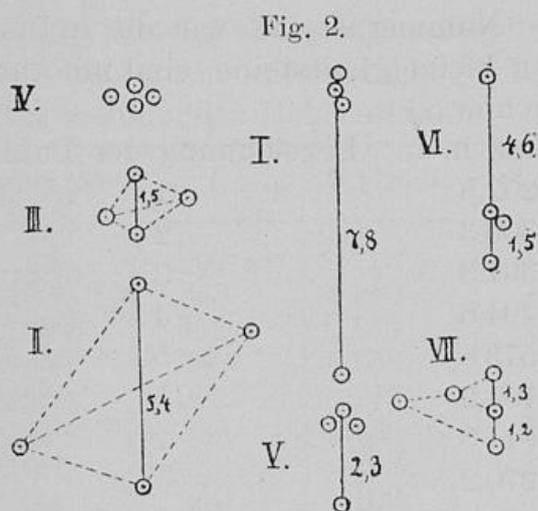
Dagegen bedarf die merkwürdige Erscheinung der grösseren Geschwindigkeit an der konkaven Seite des Gletschers einer näheren Betrachtung. Sie steht in scheinbarem Widerspruch mit dem bekannten, aus un-

seren Wasserläufen abstrahierten und auch wohl an Gletschern beobachteten Gesetze, wonach gerade umgekehrt an der konvexen Seite der Krümmung die grössere Geschwindigkeit vorhanden ist. Eine Annahme, dass durch Abgleiten die 4 Steine der bezüglichen Steindaube eine so grosse y-Ordinate erhalten haben könnten, ist bei der mässigen Neigung der Oberfläche und dem Mangel an wesentlichen Unebenheiten ausgeschlossen. Indes klärt sich der Widerspruch sofort bei Betrachtung der Finsterwalderschen Karte. Nach ihr zieht in spitzem Winkel zur Gletscherachse vom rechten zum linken Ufer ein starker Querriegel des unteren Absturzes in der Weise, dass er gerade an der Stelle, wo die Daube VII liegt, flach ausläuft, so dass also daselbst die Mächtigkeit des Eises eine weit geringere sein muss, als am rechten Ufer. Die Mächtigkeit des Eises ist aber, wie schon Heim in seiner Gletscherkunde bemerkt, ein weit stärkerer Faktor für die Bewegung als die Neigung des Untergrundes. Überdies verliert der Querriegel in dem Masse an Steilheit, als er sich dem linken Ufer nähert.

Auch das Verhältnis der Randgeschwindigkeit zur Achsengeschwindigkeit ist ein auffallend grosses, nachdem sowohl Heim am breiten Rhonegletscher, wie auch Finsterwalder am schmalen Gliederferner ein solches von 1 : 10 beobachteten.

Indes dürften Erklärungsversuche dieses so abweichenden Verhaltens des Gepatschferners vorläufig wenig mehr als hypothetischen Wert besitzen. Doch ist nicht unwahrscheinlich, dass der an dieser Stelle sich bereits sehr deutlich bemerkbar machende neue Vorstoss die Ursache dieser Erscheinung ist; wir besitzen aber hierüber noch keine andere Beobachtung als die vorliegende.

Von Interesse dürfte auch die Kenntnis der Zerstreuung sein, welche die Nummernsteine einer jeden Steindaube erfahren haben. Ich gebe daher im Folgenden die von mir aufgenommenen Skizzen wieder, indem ich dabei die Distanz, welche annähernd in der Strom-



Zerstreung der Steindauben. (Massstab 1 : 250.)

richtung liegt, durch eine ausgezogene Linie charakterisiere, während die übrigen Distanzen punktiert bleiben. Die Entfernungen sind in Metern ausgedrückt und die Figuren im Massstabe 1 : 250 gezeichnet.

Hieraus und aus Figur 1 ist dreierlei ersichtlich :

1. Die Grösse der Zerstreung wächst gegen die Mitte des Gletschers.
2. Die Stromlinien sind auf eine grosse Breite des Gletschers (zwischen Steindaube II und VII liegen mehr als 400 m) parallel der Gletscherachse.
3. Sie divergieren stärker am konvexen, als am konkaven Ufer.

Für zukünftige Messungen möge beachtet werden, dass Steindaube IV ganz an den Rand des Gletschers gerückt ist, für weitere Untersuchungen also nicht mehr in Betracht kommen wird, und dass zwischen den Steindauben VI und VII fünf über 100 m lange, zwischen 10 bis 20 m breite und gegen 5—15 m tiefe Gletscherschründe liegen, welche an ihrem oberen Ende leicht zu umgehen sind. Übrigens lag auch Steindaube VII nur mehr gegen 30 m vom linken Gletscherrand entfernt, während ihre Distanz vor 4 Jahren noch etwas mehr als 80 m betrug; auch sie wird daher schon bei der nächsten Aufnahme am äussersten Rande zu suchen sein.

Gleichzeitig mögen hier die Distanzen mitgeteilt sein, welche die Steindauben der von mir genau an die Stelle der ursprünglichen Steinlinie gelegten Linie vom Punkte

P_{2311,6} besitzen. Die Nummernsteine, wie die in Distanzen von 1 m gelegten kleinen Leitsteine, sind mit chromgelber Ölfarbe gezeichnet.

Punkt	Distanz in m	Bezeichnung der Daube
P _{2268,1}	202,5	1
P _{2270,5}	309,3	2
P _{2271,8}	397,3	3
P _{2271,8}	494,6	4
P _{2272,1}	573,6	5
P _{2270,2}	704,2	6
P _{2265,4}	814,3	7
Marke _{2295,2}	970,2	—

B. Der Substanzverlust.

Schon bei der ersten Besichtigung des Gletschers lehrte uns ein Vergleich mit der Karte, dass wenigstens an der Stirne ganz bedeutende Eismassen in den letzten 5 Jahren abgeschmolzen sein mussten. Die Zunge, die noch im Jahre 1886 mehr als 100 m über die Mündung des Krummgampenbaches in den Faggenbach gegen das Thal hinausragte, war nun ebensoviel hinter die Mündungsstelle gerückt. Die gewaltigen Felsbuckel am Signal B, welche nach der Karte bis hoch hinauf vom Eise umflutet sein sollten, waren vollständig freigelegt. Der schon vorhin erwähnte felsige Querriegel, welcher den unteren Sturz der Zunge verursacht, kam bei B bereits zum Vorschein und der Gletscherbach, von ihm an das östliche Ufer gedrängt, brach dort aus einem mächtigen Gletscherthore, um nach einem kurzen Laufe am Tageslicht in wildtosenden Kaskaden gegen die Thalmitte abstürzend wieder unter dem Gletscher zu verschwinden.

Die Vermessung ergab indes, dass der Substanzverlust nur an der Stirne ein so beträchtlicher war und

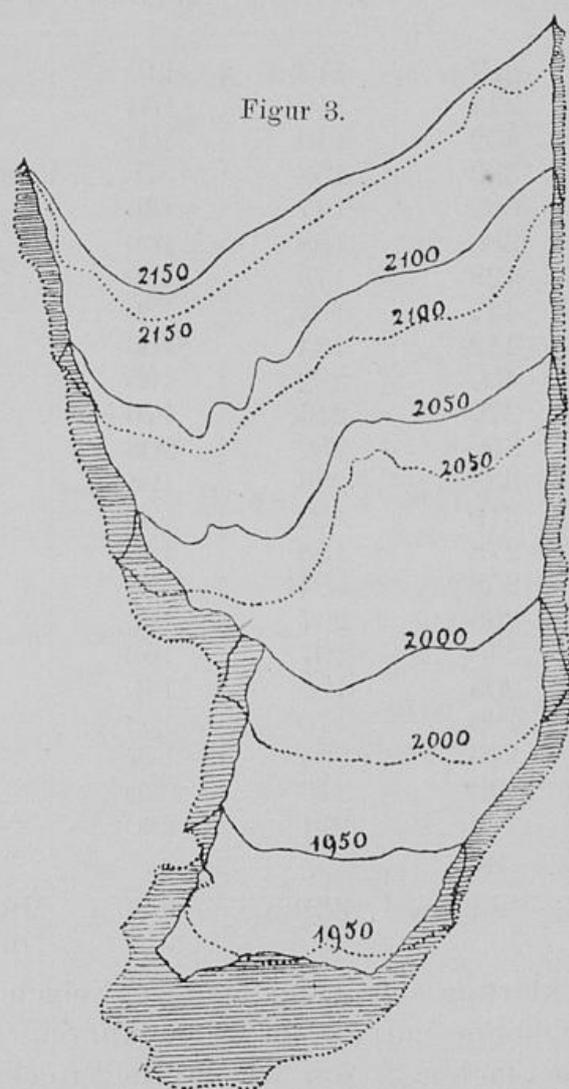
die folgende Tabelle gibt, in Verbindung mit der Skizze auf Seite 12 ein anschauliches Bild wie rasch derselbe mit zunehmender Höhe abnahm.

Isohypse	f_i	φ_i (1886)	φ'_i (1891)	$d' = d : \cos \alpha_i^*)$
1920	297 a	113 a	110 a	28,7 m
1930	343	110	164	27,2
1940	402	140	100	32,7
1950	383	153	78	32,3
1960	362	147	146	25,5
1970	386	158	160	25,6
1980	428	178	140	27,4
1990	449	192	130	26,8
2000	412	184	163	23,4
2010	400	232	195	18,1
2020	370	215	175	18,4
2030	350	252	208	15,0
2040	333	226	195	16,3
2050	319	192	130	18,4
2060	278	158	140	18,0
2070	258	184	155	15,2
2080	255	207	163	13,4
2090	240	197	153	12,8
2100	205	198	140	11,4
2110	180	170	158	9,7
2120	140	204	177	6,8
2130	120	210	220	5,3
2140	108	271	230	4,0
2150	95	—	—	—
Summa		4291 a	3630 a	Mittel: 18,8 m in 5 Jahren

Zur Erklärung der Tabelle möge Folgendes dienen Die erste Kolonne enthält die Höhenkurven; die zweite enthält jene Flächen f_i , um welche die Projektion der in gleicher Zeile stehenden Höhenkurve im Zeitraume 1886 bis 1891 auf dem Gletscher zurückgerückt ist. Die dritte und vierte Kolonne geben die Projektionen φ , bzw. φ' derjenigen Gletscheroberflächen, welche im Jahre 1886,

*) Da α_i bei Gletscherzungen im allgemeinen unter 10° liegt, so ist d von d' wenig verschieden.

bezw. 1891 zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Isohypsen lagen. Aus diesen drei vorausgehenden Kolonnen ist dann die vierte, welche die Dickenabnahme des Gletschers angiebt, in folgender Weise berechnet.



Die Zunge des Gepatschferners.

Grenzen 1886 Grenzen 1891 ——— Massstab 1 : 10,000.

Der zwischen je zwei Isohypsen von geringer Differenz in nicht zu grosser Ablationsperiode abgeschmolzene Eiskörper einer regelmässigen Gletscherzunge lässt sich mit einem schiefwinklichen prismatischen Körper ver-

gleichem. Seine parallelen Grundflächen sind jene Flächen f_i der ersten Kolonne (vgl. auch Fig. 3). Ist also f_i die eine, f_{i+1} die nächstfolgende Fläche, so ist, weil die Isohypsen 10 m Höhendifferenz haben, der Inhalt des Prismas

$$V = 10 \cdot \frac{(f_i + f_{i+1})}{2}$$

Dieses Prisma ist andernteils begrenzt von den beiden annähernd parallelen Gletscheroberflächen, nämlich den Isohypsenstreifen, deren Projektionen φ_i und φ'_i sind. Wählen wir diese als Grundflächen und bezeichnen ihren Abstand mit d , so ist auch, wenn α_i ihr mittlerer Neigungswinkel ist,

$$V = d \cdot \frac{(\varphi_i + \varphi'_i)}{2 \cos \alpha_i}$$

Hieraus ergibt sich für die zu berechnende Dickenabnahme senkrecht zur horizontalen Projektionsebene die Gleichung: $d' = \frac{d}{\cos \alpha_i} = 10 \cdot \frac{f_i + f_{i+1}}{\varphi_i + \varphi'_i}$

Man kann die Grössen d' als Dickenabnahme eines mittleren Gletschers denken, dessen Isohypsenstreifen die Projektionen $\frac{\varphi_i + \varphi'_i}{2}$ haben, und dessen Neigungswinkel gleich α_i ist.

Aus der vierten Kolonne der Tabelle I ersieht man, dass das Maximum der Abschmelzung auf der Stufe zwischen den Höhenkurven 1940 und 1960 liegt und dort 6,5 m im Jahre beträgt. Die tiefergelegene Stufe weist nur eine Dickenabnahme von 5,6 m im Jahre auf, ein Betrag, der sich, wie wir gleich sehen werden, auch als Mittel für die ganze Stufe von 1900—2000 m ergibt. Für die Stufe von 1920—1940 m liegt indes auch noch eine einjährige Beobachtung von Professor Finsterwalder vor, welcher sowohl im Jahre 1886 als im Jahre 1887 die Stirne des Gletschers tachymetrisch aufnahm. Aus diesen Aufnahmen, von welchen er mir Skizzen zur Verfügung stellte, ergibt sich ein Schwindmass von 8,2 m, so dass also das fünfjährige Mittel um 2,6 m hinter diesem einjährigen Mittel zurückbleibt.

Von der Isohypse 2050 ab wird die Dickenabnahme ohne Schwankungen geringer und sinkt bis 0,8 m im Jahre an der Isohypse 2150. Von hier ab hört meine Detailvermessung auf und wir sind, wenn wir noch weiteres über die Abnahme der Eisesdicke zu erfahren wünschen, auf die beiden um 80 bzw. 120 m höher gelegenen Steinlinien angewiesen, deren sorgfältige Berechnung uns genaue Zahlen für den Substanzverlust an den betreffenden Stellen liefert.

Indem man nämlich die Lage der Nummernsteine, sowohl der alten im Jahre 1887 gelegten, als auch der neuen von mir 1891 gelegten Steinlinie in das photographische Original der Finsterwalderschen Karte, natürlich mit Berücksichtigung des durch die Papierausdehnung veränderten Maßstabes, einträgt und die Differenzen bildet aus den für die Nummernsteine berechneten Höhen des Jahres 1891 und den Meereshöhen, welche die gleichen Punkte nach der Karte im Jahre 1887 besaßen, erhält man folgende zwei Tabellen.

Tabelle II. (Profil an der unveränderten [neuen] Steinlinie.)

Steindaube		I	II	III	IV	V	VI	VII
Meereshöhe in m	1887	2269,0	2268,5	2273,0	2274,0	2274,5	2272,0	2265,5
	1891	2268,1	2270,5	2271,8	2271,8	2272,1	2270,2	2265,4
Differenz		- 0,9	+ 2,0	- 1,2	- 2,2	- 2,4	- 1,8	- 0,1

Daraus folgt eine mittlere Senkung des Profiles um 0,93 m innerhalb 4 Jahren, oder um 0,23 m per Jahr. Wir können diesen Ablationsbetrag als der Isohypse 2270 angehörig annehmen, wie aus den beiden mittleren Zeilen dieser Tabelle ersichtlich ist.

Tabelle III. (Profil an der vorgerückten [alten] Steinlinie.)

Steindaube		IV	III	II	I	V	VI	VII
Meereshöhe in m	1887	2226,7	2227,2	2227,8	2234,0	2240,0	2252,5	2252,5
	1891	2223,8	2225,1	2223,6	2230,0	2241,1	2253,8	2251,8
Differenz		- 2,9	- 2,1	- 4,2	- 4,0	+ 1,1	+ 1,3	- 0,2

Aus dieser Tabelle ergibt sich eine Dickenabnahme von 1,6 m innerhalb 4 Jahren, oder von 0,4 m innerhalb eines Jahres und zwar in der mittleren Höhe von 2235 m.

Zwischen dieser Isohypse 2235 und der Isohypse 2150 habe ich für keinen Punkt der Gletscherfläche einen Substanzverlust bestimmt. Innerhalb dieses Gebietes, das unmittelbar über dem untern Absturz liegt, ist indes die Gletscheroberfläche bis auf die erwähnten Schründe am westlichen Ufer frei von wesentlichen Unebenheiten; man kann ohne wesentlichen Fehler die jährliche Abschmelzung gleich dem arithmetischen Mittel aus den Beträgen der beiden Grenzisohipsen nehmen, und erhält so $\frac{0,8 + 0,4}{2} = 0,6$ m per Jahr. In gleicher Weise dürfen wir annehmen, dass die mittlere Abschmelzung auf dem ebenfalls ebenen Gebiete zwischen den Isohipsen 2235 und 2270 gleich ist dem arithmetischen Mittel aus den Grenzbeträgen, also gleich $\frac{0,4 + 0,2}{2} = 0,3$ m per Jahr.

Man ersieht hieraus, dass sich über der Isohypse 2150 die Verminderung der Dickenabnahme sehr verlangsamt. Während sie unterhalb derselben im Verlauf einer Höhenstufe von 230 m rasch von etwa 6 m per Jahr auf 0,8 m herabgeht, vermindert sie sich für die nächste Höhenstufe von 120 m nur allmählig von 0,8 m auf 0,2 m.

Für verschiedene Zwecke, namentlich zum Vergleich des hier gewonnenen Resultates mit den Resultaten anderer Beobachter, ist es nützlich, die Zahlenreihen der Tabelle I für grössere Höhenstufen als 10 m zusammenzufassen.

Die Volumina der abgeschmolzenen Eiskörper bestimmt man nach der Simpsonschen Regel

$$V = \int_a^b y \, dx = \frac{b-a}{6n} \{ (f_0 + f_{2n}) + 4(f_1 + f_3 + \dots) + 2(f_2 + \dots + f_{2n-2}) \}$$

wo f_i die Zahlen der ersten Kolonne, a und b die Zahlenwerte der die Stufe begrenzenden Isohypsen sind. Gleichzeitig will ich alsdann die Dickenabnahme normal zur Gletscheroberfläche berechnen, welche sich aus den Grössen d' der fünften Kolonne in Tabelle I ergibt, wenn wir sie mit $\cos \alpha_i$ multiplizieren, wobei α_i der Neigungswinkel des mittleren Gletschers ist. Dieser Böschungswinkel berechnet sich nach Finsterwalder (vgl. die Sitzungsberichte der k. bayer. Akademie der Wissenschaften 1890, Bd. XX Heft 1, „Über den wahren Böschungswinkel und das wahre Areal einer topographischen Fläche“ von S. Finsterwalder) aus dem Gesetze:

Die Tangente des mittleren Böschungswinkels ist dargestellt durch das Verhältnis der Summe der vertikalen Flächen zur Summe der horizontalen Flächen der Stufen eines Treppenmodelles der topographischen Fläche. Es ist also:

$$\text{tang } \alpha_i = \frac{\text{Aequidistanz} \times \text{Summe der Isohypsenlängen}}{\text{Fläche der Horizontalprojektion.}}$$

Die Aequidistanz beträgt in unserem Falle 10 m. Die Summe der Isohypsenlängen für den mittleren Gletscher ist $\Sigma \frac{(l_i + l_i')}{2}$, wenn l_i und l_i' die Längen der entsprechenden Isohypsen auf dem Gletscher von 1886, bzw. 1891 sind. Ebenso ist die Fläche der Horizontalprojektion des mittleren Gletschers bestimmt durch

$$F = \Sigma \frac{1}{2} (\varphi_i + \varphi_i')$$

wo φ_i und φ_i' die in der Tabelle auf Seite 11 aufgeführten Grössen bedeuten. Demnach ist

$$\text{tang } \alpha_i = \frac{\Sigma (l_i + l_i')}{\Sigma (\varphi_i + \varphi_i')} \cdot 10$$

Indem wir nun die Hunderter der Isohypsenzahlen als Grenzen der einzelnen Höhenstufe wählen, erhalten wir folgende Tabelle:

Tabelle IV.

Höhenstufe	1920 — 2000 m	2000 — 2100 m	2100 — 2150 m	1920 — 2150 m
Horizontalprojek- tion	1110 a	1862 a	989 a	3961 a
5jährige Volumen- abnahme (cbm.)	3112000	3119000	700000	6931000
Jährliche Dicken- abnahme (d')	5,61 m	3,35 m	1,42 m	3,50 m
Mittlerer Bösch- ungswinkel α	13° 30'	10° 40'	20° 0'	16° 40'
Dickenabnahme $d = d' \cos \alpha$	5,45 m	3,20 m	1,33 m	3,35 m

Aus dieser Tabelle ersehen wir, dass sich die Dickenabnahmen in den drei aufeinander folgenden Höhenstufen sehr stark verringern. Für die Stufe von 1900—2000 m stimmt der Ablationsbetrag von 5,61 m in vertikaler Richtung zum Horizont mit allen bisher an anderen Gletschern gemachten Beobachtungen überein. So findet Professor Finsterwalder am Suldenferner für diese Höhenstufe den Betrag 5,4 m, so gibt Richter für den Oberulzbachferner einen zwischen 5 und 6 m liegenden Wert an, so berechnet Seeland als 11jähriges Mittel an der Pasterze 5,72 m. Für höhere Stufen fehlt uns aber in den Ostalpen leider jegliches Beobachtungsmaterial. Wir können die vorliegenden Resultate allenfalls vergleichen mit den von Finsterwalder theoretisch berechneten Ablationszahlen für Höhenstufen von 100 zu 100 m. (Vergl. Zeitschr. d. D. u. Ö. A.V. 1887, S. 83). Diese Ablationszahlen sind aus der Annahme berechnet, dass die Ablation im Grossen und Ganzen proportional ist dem Produkte aus der schneefreien Zeit und der mittleren Temperatur während derselben über dem Gefrierpunkt. Sie beziehen sich a. a. O. überdies nur auf den Suldenferner, (für dessen Thal mehrjährige Temperaturbeobach-

tungen in Sulden gemacht wurden), und können daher für den Gepatschferner nur in ihrer relativen Grösse zu einander in Betracht kommen.

Wenn aber auch die absoluten Beträge der Ablation für diesen Ferner etwas anders sein werden, im Grossen und Ganzen dürfte, da die Anfangsglieder übereinstimmen, die für die verschiedenen Stufen sich ergebende Zahlenreihe eine dem Suldenferner ziemlich ähnliche arithmetische Reihe ergeben, wenn anders das von Agassiz und Schlagintweit berechnete Mittel der Ablation von $3-3\frac{1}{2}$ m per Jahr und qm der Wahrheit nahe kommt.

Die arithmetische Reihe dieser Ablationszahlen zeigt nun Differenzen von $5-7$ dm für eine Höhenstufe von 100 m. Ihr erstes Glied, der Ablationsbetrag für 1900 bis 2000 m, ist $5,4$ m; der von mir beobachtete ist $5,6$ m. Die Bewegung des Gletschers schafft also an dieser Stelle kein Eis mehr nach. Auf der nächsten Stufe von 2000 bis 2100 m ist der Ablationsbetrag nach Finsterwalder $4,8$ m, der von mir beobachtete $3,4$ m, d. h. die Bewegung des Eises schafft an dieser Stelle bereits $1,4$ m jährlich nach, also etwa $\frac{2}{7}$ der Menge, die nötig wäre, um einen stationären Zustand herzustellen. In der Höhe der Steinlinie beträgt die theoretische Ablation $3,6$ m im Jahre, die von mir beobachtete jährliche Senkung aber nur $0,23$ m, d. h. durch die Gletscherbewegung wird hier bereits $3,37$ m im Jahre herbeibefördert, d. i. $\frac{17}{18}$ der Menge, die den Bewegungszustand stationär machen würde.

Aus diesen Betrachtungen folgt aber mit grosser Wahrscheinlichkeit, dass der Gletscher oberhalb der Stufe 2300 m bereits grössere Eismassen nachschiebt, als die Ablation zu bewältigen vermag, mit anderen Worten, dass dort der Gletscher im Vorschreiten ist. Ja wir sind sogar im Stande, uns ein beiläufiges Bild dieses Vorstosses oberhalb 2300 m zu verschaffen, wenn ich auch weit davon entfernt bin, dasselbe als ein völlig mit der Wahrheit übereinstimmendes zu erklären, eines- teils wegen der Unsicherheit der theoretischen Ablations-

zahlen, andernteils, weil wegen der Niederschlagsperioden ein annähernd konstanter Eisabfluss aus dem Firngebiet nur für eine geringere Anzahl von Jahren zu erwarten ist. Aus diesen Ablationszahlen nämlich und den von mir beobachteten Differenzen zwischen Ablation und Nachschub ergibt sich für die unteren Höhenstufen eine jährliche Zufuhr, die man aus folgender Tabelle ersieht.

Tabelle V.

Höhenstufe	Areal f_i	Ablation n. Finster- wälder	Beob. Dif- ferenz zw. Ablat. u. Nachschub	Zufuhr per qm cbm	Zu- fuhr- Diff. Δ_i	$f_i \times \Delta_i$
1900—2000	11,1 ha	+ 5,4 m	+ 5,6 m	— 0,2	—	—
2000—2100	18,6	+ 4,8	+ 3,4	+ 1,4	1,6	30
2100—2200	27,8	+ 4,1	+ 1,4*)	+ 2,7	1,3	36
2200—2300	56,6	+ 3,6	+ 0,3*)	+ 3,3	0,6	34

*) Diese zwei Zahlen ergeben sich durch graphische Interpolation aus den Ablationszahlen 2,6, 0,8, 0,4, 0,2 für die Isohypsen 2100, 2150, 2235, 2270.

Es ist vielleicht mehr als Zufall, dass die Produkte $f_i \times \Delta_i$ wenig von einander differieren. Es würde dies nichts anderes aussagen, als dass bei einem einmal im Gange befindlichen Vorstoss wenigstens eine Zeit lang aus dem Firnfeld alljährlich annähernd gleiche Volumina Eis abfließen. Unter dieser Annahme lässt sich diese Tabelle nach aufwärts fortsetzen. Indem wir das mittlere Produkt $f_i \times \Delta_i = \frac{100}{3} = 33\frac{1}{3}$ als Ausgangspunkt der Rechnung nehmen, erhalten wir Tabelle VI (S. 20).

Die Produkte der Zahlen in Kolonne 2 und 4 liefern eine jährliche Volumenzunahme von $9\frac{1}{2}$ Millionen cbm auf dem Areal der Gletscherzunge zwischen den Isohypsen 2300 und 2800. Bei der Unsicherheit dieses Resultates ist es nicht uninteressant, es wenigstens auf seine Wahrscheinlichkeit zu prüfen. Dieser Volumenzunahme oberhalb 2300 m steht eine Volumenabnahme von 1800000 cbm unterhalb gegenüber gemäss der Tabelle V.

Tabelle VI.

Höhenstufe	Areal f_i	Ablation nach Finster- walder	Constr. Diff. zw. Ablat. u. Nachschub	Zufuhr per qm	Zu- fuhr- Diff. Δ	$\Delta_i \times f_i$
2300—2400	55,7 ha	+ 3,1	— 0,8	+ 3,9	0,6	33,3
2400—2500	52,0 „*)	+ 2,5	— 2,0	+ 4,5	0,6	33,3
2500—2600	30,0 „	+ 2,0	— 3,6	+ 5,6	1,1	33,3
2600—2700	50,0 „	+ 1,3	— 5,0	+ 6,3	0,7	33,3
2700—2800	72,0 „	+ 0,6	— 6,2	+ 6,8	0,5	33,3

*) Diese Zahlen habe ich der Haushoferschen Karte der Ötztthaler Alpen entnommen. Die Summe der Arealzahlen beider Tabellen beträgt 373,8 ha.

Demnach würde die Gletscherzunge in den Jahren 1886 bis 1891 eine jährliche Volumenzunahme von 7,7 Millionen cbm aufweisen. Nun berechnet Finsterwalder den Maximalverlust von 1885—1886 auf 129 Millionen cbm. Daraus folgt, dass der Gletscher unter Beibehaltung der angenommenen Tendenz in 16—17 Jahren den Maximalstand vom Jahre 1885 wieder erreichen könnte, und dieses Ergebnis steht wenigstens nicht in Widerspruch mit dem von E. Richter berechneten Mittel unserer langsameren Vorstossperioden, für welche er einen Zeitraum von 12—15 Jahren angibt. (Vergl. E. Richter, 'Geschichte der Schwankungen der Alpengletscher', Zeitschrift d. Deutschen u. Österr. Alpenvereins 1891, S. 37).*)

Die Kenntnis des Substanzverlustes unterhalb eines Gletscherquerschnittes gestattet endlich auch in Ver-

*) Es mag an dieser Stelle bemerkt werden, dass beim benachbarten Weisseeferner der Vorstoss bereits am Stirnrande sich bemerkbar zu machen scheint. Denn die von Professor Finsterwalder 1887 in 9,25 m Distanz von der Stirne gesetzte Marke traf ich 1891 in 11,5 m Distanz. Ein so geringes Zurückschreiten innerhalb vier Jahren ist nicht wahrscheinlich; der Gletscher hat allem Anscheine nach seine Bewegungstendenz wenigstens einmal geändert: entweder hatte er zunächst ein gewisses Maximum erreicht und ist nun im Zurückschreiten begriffen, oder er war an einem Minimum angelangt und befindet sich nun im Vorschreiten. Der dicht anliegende kleine Moränenwall spricht für die zweite Annahme.

bindung mit der dort bekannten Geschwindigkeit den Querschnitt selbst zu berechnen. Ist nämlich v die mittlere jährliche Geschwindigkeit des Querschnittes, A die Grösse der Ablation unterhalb dieses Querschnittes Q , und V der Substanzverlust, so ist nach Finsterwalder

$$Q \cdot v = A - V$$

Der jährliche Ablationsbetrag berechnet sich aus den 4 theoretischen Ablationszahlen der Tabelle V für die Höhenstufen 1900—2300 mit 4670000 cbm; der jährliche Substanzverlust auf dem gleichen Gebiet ist 1810000 cbm; die mittlere Geschwindigkeit ist nahe der Oberflächengeschwindigkeit, für welche wir $v = 48,6$ m per Jahr ermittelten. Die Differenz $A - V$ wird demnach 2860000 cbm. Dividieren wir sie mit $v = 45$, so erhalten wir einen Querschnitt $Q = 63600$ qm. Da die mittlere Breite an dieser Stelle etwa 750 m beträgt, so ergibt sich damit in der Höhe der Isohypse 2300 m also etwa 2 km vom Stirnrand der Gletscherzunge entfernt eine mittlere Mächtigkeit des Eises von $d = 80 - 90$ m. Unter Annahme eines parabolischen Querschnittes folgt, dass die Maximaldicke alsdann 120—135 m an dieser Stelle betragen kann. Denn in diesem Falle wird

$$\frac{Q}{2} = \int_0^x \sqrt{2px} \, dx = \frac{\sqrt{(2px)^3}}{3p}$$

wenn die Parabel des Querschnittes Q die Gleichung

$$y^2 = 2px$$

hat. Bezeichnen wir alsdann die halbe Gletscherbreite mit m , die Dicke mit d , so ergibt sich aus den beiden Gleichungen

$$3pmd = \sqrt{(2px)^3} \quad (\text{I})$$

$$m^2 = 2px \quad (\text{II})$$

für die grösste Tiefe x die Gleichung

$$x = \frac{3}{2} d.$$

C. Der freigewordene Gletscherboden.

Der sogenannte Rückgang des Gletschers, also das lineare Zurückweichen des Stirnrandes, ist von einer Reihe von Faktoren beeinflusst, und im Allgemeinen sind die sich aus ihm ergebenden Mafszahlen nicht geeignet, um Schlüsse auf die gesamte Bewegungstendenz einzelner Jahre zu ziehen.

Thalbettform, Mächtigkeit des Eises an der Stirne, Schuttbedeckung daselbst, Zungenform, Zerklüftung der Zunge spielen neben den eigentlichen meteorologischen Faktoren und der Geschwindigkeit des Nachschubes eine bedeutende Rolle. Nach den Zeiten eines Maximums ist der lineare Rückgang fast Null, vor den Zeiten des Minimums ist er relativ gross, wie gleichmässig auch der meteorologische Charakter der beiden Zeitperioden übereinstimmen mag. So steht z. B. der Rückgang des Obersulzbachferners in den Jahren 1885—87, wo er nach Richter 230 m betrug, in gar keinem Verhältnis zum Mittel aus dem Gesamtrückgang von 1000 m, die auf 35 Jahre verteilt einen jährlichen Rückgang von etwa 28 m ergeben. Ganz ähnliches gilt natürlich auch von dem Rückgang der Ränder an den Seiten des Gletschers, so dass beispielsweise der Gletscherrand selbst noch etwas zurückweichen kann, wenn auf gleicher Höhe die Flut schon bemerkbar ist, wie ich am Gepatschferner wahrnehmen konnte. Beobachtungen über Arealverluste des Gletschers sollten daher, soweit sie sich auf einfache Gletschermarken stützen, stets auch von Notizen über die oben erwähnten Bedingungen begleitet sein, wenn sie etwas mehr Wert haben sollen, als den einen, den Zeitpunkt zu bestimmen, wann die seit Jahren erwartete Flut den Gletscherrand erreicht.

Was nun die Stirne der Gepatschfernerzunge betrifft, so war dieselbe sowohl im Jahre 1886 wie im Jahre 1891 breit entwickelt ohne wesentliche Verschiebung einzelner Teile auf eine Breite von 200—300 m. Die Schuttbedeck-

ung ist stets äusserst gering bei dem gänzlichen Mangel an Mittelmoränen, und ebenso zeigten sich nirgends wesentliche Spalten. Das ganze Zungenende ist eine kompakte Eismasse von steigender Mächtigkeit, welche 1886 auf etwa 200 m Tiefe von 0 bis 40 m gleichmässig anwuchs, eine Eigenschaft, die man bei dem völlig ebenen schwach ansteigenden Vorterrain auch dem Zungenende vom Jahre 1891 zusprechen kann. Die Beteiligung der oben erwähnten Faktoren am Rückgange ist also nach allem diesen wohl eine ganz verschwindende, und es kann der gesamte Rückgang gleichmässig auf die verflossenen 5 Jahre verteilt werden. Das an der Stirne freigewordene Gebiet beträgt in dieser Zeit 380 a, so dass also dort jährlich 75 a vom Gletscher verlassen wurden.

Dieselbe Gleichförmigkeit, die dem Eiskörper und dem Gletscherbett am Zungenende zukommt, weist der ganze westliche Uferrand bis zur Isohypse 2150 auf, und wir sehen daher in dem Zurückweichen des Randes daselbst einen ausgeprägt gesetzmässigen Verlauf, indem das frei gewordene Moränenband von 30 bis auf 6 m Breite sich gleichmässig verjüngt, während gleichzeitig die Dicke des daselbst abgeschmolzenen Eiskörpers von 28 auf 6—7 m zurückgeht. (Vgl. auch Fig. 3.) Das östliche Ufer dagegen zeigt ganz unregelmässige Schwankungen, was eben durch die komplizierten Terrainverhältnisse bedingt ist. Selbst in der Meereshöhe der Steinlinie erreicht das freigewordene Band, nachdem es bereits auf 8 m Breite in 2150 m Höhe zurückgegangen war, wiederum eine solche von 20 m.

Das gesamte Areal, welches der zurückschreitende Gletscher von 1886—1891 freigegeben hat, beträgt 6,6 ha auf dem von mir topographisch aufgenommenen Gebiete von 43,0 ha. (Vgl. Tab. S. 11.) Es wurden sonach jährlich etwa 1,3 ha vom Eise entblösst, ein Betrag, welcher weit hinter dem von Finsterwalder im Jahre 1887 berechneten von 2,4 ha zurückbleibt. Während hiernach der Gesamtrückgang nicht das 30jährige Mittel erreicht,

übertrifft der Rückgang an der Stirne dasselbe bei weitem. Das daselbst frei gewordene Terrain umfasst nämlich wie schon erwähnt 3,8 ha und wenn wir diesen Betrag mit der mittleren Breite von 2,5 hm dividieren, so ergibt sich ein linearer Rückgang von 1,52 hm in 5, und 30 m in einem Jahre.

Das ist im Vergleich zum Gesamtrückgang ein ganz erheblicher Betrag. Denn nimmt man nach Sonklar das Gletscherende zur Zeit des Maximums an der Stelle an, wo heute die Höhengcote 1892 am Faggenbach in der Finsterwalderschen Karte steht, so hat dasselbe vom Stirnrand 1887 eine Entfernung von rund 500 m, woraus für die 30 Jahre von 1857—1887 ein jährlicher Rückgang von 16,7 m sich ergibt. Indessen darf man nicht vergessen, dass der lineare Rückzug des Gletschers am Zungenende zu den Zeiten des Maximums notwendig ein sehr geringer sein muss. Denn einesteils muss erst die bedeutende Dicke des Eises reduziert werden und andernteils herrscht noch geraume Zeit nach dem Maximum wenigstens längs der Axe die wesentlich höhere Maximalgeschwindigkeit vor, wodurch (vgl. Richter, ‚Vermessung des Obersulzbachferners‘, Jahrg. 1883 d. Zeitschr. d. Deutsch. u. Österr. Alpenvereins) die Eismassen während ihres Transportes eine geringere Ablation erfahren. Die Geschichte der Gletscherschwankungen lehrt uns auch, dass nach dem Maximum der eigentliche Rückgang oft jahrelang nur wenige Meter beträgt, während der eigentliche Volumverlust auf der ganzen Zunge bereits im Gange ist. Nur tumultarisch ausbrechende Gletscher und Gletscher mit abnormer Zungenform können davon eine Ausnahme machen.

So scheint der Gletscher selbst im stärksten Schwinden begriffen zu sein, während 2 km oberhalb des Stirnrandes der Nachschub bereits die Ablation überholt, eine Erscheinung, die ich nicht nur am Gepatschferner konstatieren konnte. Auch für die Pasterze ist in den gleichen Jahren (1887—1890) nach Seeland (Zeit-

schrift des Deutsch. u. Österr. Alpenvereins 1891, S. 458) an der Stirne die Ablation mit 7,82 m per Jahr am zweitgrössten innerhalb 11jähriger Beobachtungen, während in 2300 m Höhe dieselbe nur mehr 1,8 m beträgt und in 2400 m sogar auf 0,4 m zurückgegangen ist.

Der Thalboden, welcher durch den Rückgang frei wurde, ist durchwegs eben und mit Moränenschutt reichlich bedeckt. Aus demselben entnahm ich einen etwa 6 kg schweren, auf seiner ganzen Oberseite glatt geschliffenen Stein von geschichtetem Gneiss als schönes Beweisstück für die Existenz einer meist durch die kantigen Trümmer der Oberflächenmoräne zugedeckten Grundmoräne und deponierte es im Gepatschhause. Der Gletscherbach hat ersichtlich seinen Lauf mehrfach geändert und da und dort seinen Schotter zu kleinen Wällen aufgeworfen, die hoch genug waren, um eine seitlich einflussende Quelle zu einem kleinen See aufzustauen, an einer Stelle, die noch vor fünf Jahren von den Eismassen des Ferners bedeckt war. So gab schon diese im Vergleich zu den eiszeitlichen Gletscherströmen verschwindende Schmelzwassermenge des Gepatschferners ein schönes Bild im Kleinen von der bodenumformenden Thätigkeit solcher periodisch stark wachsender und abnehmender Gletscherbäche. Lehrreich war auch die beginnende Freilegung des Querriegels am Signal B. Mächtige Eismassen bis zu 30 m Höhe lagen in wenigen Stützpunkten auf den Felstrümmern auf und schmiegteten sich nirgends der zerklüfteten Unterlage an. Bodenbearbeitung sowohl als äussere Reibung können daher an solchen Stellen nur sehr gering sein.

Meine durch den starken Rückgang an der Stirne hervorgerufene frühere Vermutung (vgl. All. Zeit., Beil. No. 235, 1892), dass der Querriegel grösstenteils noch frei werden möchte, hat sich nach dem hier niedergelegten genaueren Studium der Ablationserscheinungen nicht bestätigt, der Gletscher wird in wenig Jahren seinen Minimalstand erreicht haben. Dann werden regelmässige

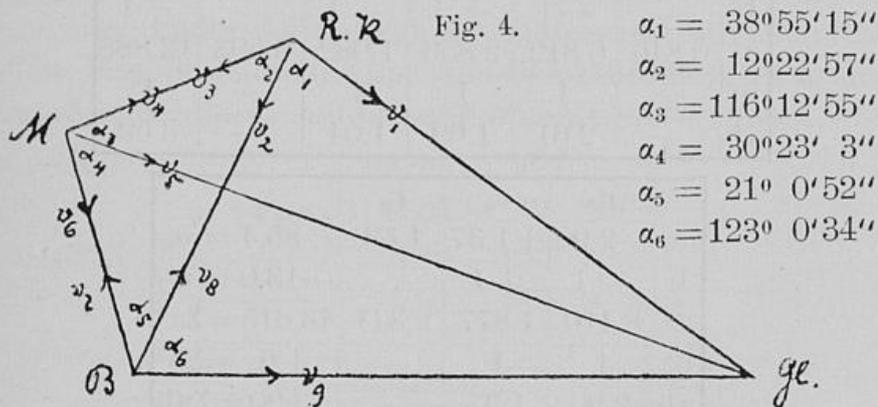
Beobachtungen von grossem Werte für unsere Gletscherkunde sein, da wir über den Bewegungszustand bei beginnender Flut noch sehr im Dunkeln sind. Tritt wirklich an der Firnlinie die im Vorausgehenden berechnete sehr beträchtliche Dickenzunahme ein? Wie verändert sich daselbst alsdann der Querschnitt, da die Ufermoränen doch gering entwickelt sind? In welchem Verhältnis steigert sich dort alljährlich das abfliessende Eisvolumen? Wie ändert sich die Geschwindigkeit an der Firnlinie? Wie ändert sie sich längs der ganzen Zunge? Welche Rolle spielt die äussere Reibung? Zeigt sich die beginnende Flut als Auslösung eines labilen Gleichgewichtes oder als Summe eines seit vielen Jahren stetig vermehrten Nachschubes? Mag es auch in besondern Fällen zutreffen, dass manche heftige Vorstösse dadurch entstehen, dass jahrelang aufgespeicherte Firnmassen durch ein geringes Übergewicht zu einem raschen Abfluss gelangen, — im Allgemeinen wird doch das von Pfaff im Kleinen experimentierte Gesetz auch im Grossen gelten, wonach schon $\frac{1}{30}$ Atmosphärendruck bei 0° Wärme hinreicht, um eine Formveränderung des Eises und Bewegung seiner Teilchen zu erzeugen, wenn derselbe nur längere Zeit wirken kann.

Ich kann mich daher auch der Ansicht nicht verschliessen, dass der stetige Druck im ganzen Firngebiet sich auch stetig am Beginn der Gletscherzunge geltend macht, dass nur die Flut in derselben Weise eine Integration der fort und fort sich mehrenden Druckwirkungen darstellt, wie der Gletscher selbst als ein Integral der Niederschlagsmengen. Würde man eine Reihe von Jahren hindurch Profilmessungen an der Firnlinie anstellen, so wäre es nicht unwahrscheinlich, daselbst die jährliche Änderung in proportionale Beziehung setzen zu können mit den Niederschlagsmengen vorausgegangener Jahre.

D. Anschluss der Triangulation an die k. k. österr. Landesvermessung.

Die Finsterwalderschen Aufnahmen des Gletschers im Jahre 1886 und 1887 waren auf eine von ihm und Dr. Schunk abgesteckte Basis gestützt und es war wünschenswert, das Dreiecksnetz dieser Vermessung an die Landesvermessung anzuschliessen. Dadurch wurde nicht nur die Orientierung erhalten, sondern auch eine weitere Kontrolle der beiden geodätischen Aufnahmen. Zu dem Zwecke bestimmte ich durch eine Triangulation an den Punkten: Rauher-Kopf (2984,0 m Seehöhe), Signal M (2363,7 m) und Signal B (2037 m) die Winkel des Viereckes M—B—Rauher-Kopf—Hoher Glockthurm, in welchem Rauher-Kopf und Glockthurm Dreieckspunkte der österreichischen Landesvermessung waren. An jedem der ersten drei Punkte wurden zwei vollständige Gyri aufgenommen, das Viereck alsdann nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen und schliesslich die aus dieser Triangulation sich ergebende Distanz Rauher-Kopf—Glockthurm mit der gleichen aus den Coordinaten der österreichischen Landesvermessung berechneten verglichen. Bei der Wichtigkeit dieser ganzen Arbeit erscheint es mir nötig, die Rechnung etwas ausführlicher zu veröffentlichen.

Die von mir beobachteten Winkel waren:



Aus der Seitengleichung

$$1 = \frac{\sin(\alpha_1 + \alpha_2) \sin \alpha_6 \sin \alpha_4}{\sin \alpha_3 \sin \alpha_1 \sin(\alpha_5 + \alpha_6)}$$

folgt demnach:

$$\begin{array}{r} \log \sin(\alpha_1 + \alpha_2) = 9,8923544 \quad + 16,86 \\ \log \sin \alpha_6 = 9,9235449 \quad - 13,68 \\ \log \sin \alpha_4 = 9,7039749 \quad + 35,90 \\ \hline + 9,5198742 \end{array} \quad \begin{array}{l} \log. \text{Diff. } 1'' \\ \\ \\ \\ \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \log \sin \alpha_3 = 9,9528605 \quad - 10,36 \\ \log \sin \alpha_1 = 9,7981297 \quad + 26,07 \\ \log \sin(\alpha_5 + \alpha_6) = 9,7689694 \quad - 29,01 \\ \hline - 9,5199596 \\ \hline + 9,5198742 \end{array} \quad \begin{array}{l} \log. \text{Diff. } 1'' \\ \\ \\ \\ \end{array}$$

$$w_2 = -0,0000854$$

Die Seitengleichung liefert also einen Widerspruch $w_2 = 0,0000854$, während die Winkelsumme des Dreieckes B—M—Rhk einen Fehler von $w_1 = -13''$ aufweist.

Diess führt zu den beiden Fehlergleichungen

1. $(v_3 - v_2) + (v_6 - v_4) + (v_8 - v_7) - 13 = 0$
2. $1,69(v_3 - v_1) - 1,37(v_9 - v_8) + 35,9(v_6 - v_5) + 1,04(v_5 v_4 - 2,61(v_2 - v_1) + 2,9(v_9 - v_7) - 85,4 = 0$

Aus ihnen folgt die Koeffiziententabelle

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
a	+0,92	-2,61	+1,69	-1,04	-2,55	+3,59
b	—	—1	+1	—1	—	+1
a ²	0,846	6,812	2,856	1,082	6,503	12,888
b ²	—	1	1	1	—	1
ab	—	2,61	1,69	1,04	—	3,59

	v_7	v_8	v_9	
a	-2,90	+1,37	1,53	-85,4 = w_1
b	—1	+1	—	-13,0 = w_2
a ²	8,410	1,877	2,341	43,615 = Σa^2
b ²	1	1	—	+6 = Σb^2
ab	2,90	1,37	—	13,20 = Σab

Die beiden Korrelatengleichungen werden also:

$$\begin{aligned} 43,6 k_1 + 13,2 k_2 - 85,4 &= 0 \\ 12,2 k_1 + 6,0 k_2 - 13,0 &= 0 \end{aligned} \quad \text{oder} \quad \begin{aligned} k_1 &= + 3,896 \\ k_2 &= - 6,405 \end{aligned}$$

Hieraus ergeben sich als Korrekturen der einzelnen Visuren v_i vermöge der Beziehung $v_i = a_i k_1 + b_i k_2$ die Werte:

v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9	Σv_i^2
+3,6"	-3,8"	+0,2"	+2,4"	-10"	+7,6"	-4,9"	-1,1"	6"	250

und damit für die einzelnen Visuren ein mittlerer Fehler

$$\text{von } m = \sqrt{\frac{250}{2}} = \sqrt{125} = 11'', \text{ wobei der benützte}$$

Theodolith eine Ablesung von 20" mittelst Nonien gestattete. Die korrigierten Winkel werden nun

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 38^\circ 55' 8'', & \alpha_2 &= 12^\circ 23' 1'', & \alpha_3 &= 116^\circ 12' 43'' \\ \alpha_4 &= 30^\circ 23' 20'', & \alpha_5 &= 21^\circ 0' 56'', & \alpha_6 &= 123^\circ 0' 41'' \end{aligned}$$

Sowohl die Seitengleichung als auch die Gleichung für die Winkelsumme werden durch diese 6 Werte befriedigt. Berechnet man aus dem so ausgeglichenen Viereck, in welchem nach der Finsterwalderschen Vermessung die Seite M — Rauher-Kopf die Länge 1812,2 m besitzt, die Distanz Rauher-Kopf — Glockthurm, so erhält man

$$s = \frac{MR \sin 116^\circ 12' 43''}{\sin 12^\circ 29' 9''} = 7522,3 \text{ m}$$

bezogen auf die Höhe 1913 m der Basis über dem Meere. Nun sind andernteils die Koordinaten der trigonometrischen Signale Rauher-Kopf und Glockthurm gemäss den Angaben des k. k. militärgeographischen Institutes

$$\begin{aligned} \text{Glockthurm } x &= - 37929,68 - 3610,90 \text{ m} \\ y &= - 53101,55 - 2399,20 \text{ m} \\ \text{Rauher-Kopf } x' &= - 37926,69 - 6770,60 \text{ m} \\ y' &= - 45515,61 - 3156,90 \text{ m} \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich

$$s = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2} = 7523,87 \text{ m.}$$

Nach den Soldnerschen Formeln*) wird

$$s = \frac{n}{\sin \alpha} = \frac{m}{\cos \alpha} \text{ wobei}$$

$$n = s \sin \alpha = y' - y + \frac{(x' - x)^2}{2r^2} + \frac{(x' - x)^2(y' - y)}{6r^2}$$

$$m = s \cos \alpha = x' - x + \frac{(x' - x)y'^2}{2r^2} + \frac{(x' - x)(y' - y)^2}{6r^2}$$

$$r = 6379000 \text{ m}; \quad \log r = 6,80475.$$

Hieraus berechnet sich die Entfernung Glockthurm—Rauher-Kopf mit $s = 7523,82$ m bezogen auf das Meeresniveau. Reduzieren wir die aus dem Viereck berechnete Grösse $s = 7522,30$ m gleichfalls auf das Meeresniveau, indem wir sie mit $\frac{6379000}{6380913}$ multiplizieren, so erhalten wir 7520,0 m. Die sich so ergebende Differenz beider Werte von s und s_1 im Betrage von 3,8 m würde für den Fall, dass der aus meiner Triangulation sich ergebende Winkel α_2 bis auf die Sekunde genau ist, einen Fehler von 0,5‰ in der Basismessung bedeuten, ein Fehler, der für die vorliegende Untersuchung indes bedeutungslos ist. Ich darf aber für diesen Winkel diese Genauigkeit nicht einmal beanspruchen, da die für das Viereck sehr wichtigen Winkel am Glockthurm (andauern-der Witterungsungunst wegen) nicht gemessen werden konnten. Verteilt man den Fehler in gleicher Weise auf beide Messungen, so ergibt sich ein Fehler von 0,25‰ für die Basismessung, ein Resultat, das mit dem aus brieflichen Mitteilungen des Herrn Professor Finsterwalder entnommenen übereinstimmt. Nach diesen ergaben sich für die Basislänge aus zwei auf äusserst ungünstigem Boden ausgeführten Messungen die Werte 95,247 m und 95,250 m; trotz der Übereinstimmung der Resultate hält er noch einen Fehler von 0,01—0,02 m für nicht unwahrscheinlich, was mit dem hier ermittelten von 0,25‰ übereinstimmt.

*) Vergl. Bauernfeind, Vermessungskunde, 4. Auflage, § 110, oder Jordan, Taschenbuch der prakt. Geometrie, § 154.

Nach
 n =
 m =
 Hier
 Rauher-K
 niveau. I
 Grösse s
 indem wi
 wir 7520,
 Werte vo
 den Fall,
 gebende V
 Fehler vo
 Fehler, de
 tungslos i
 nauigkeit
 Viereck se
 der Witte
 konnten.
 auf beide M
 für die Ba
 brieflichen
 walder en
 gaben sich
 ungünstige
 95,247 m
 Resultate
 nicht unw
 von 0,25 %

*) Vergl.
 Jordan, Tasch

© The Tiffen Company, 2007

TIFFEN® Gray Scale

A 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

R G B W G K Y M C B

$$\frac{(y'-y)^2}{r^2}$$

$$-\frac{(x'-x)(y'-y)^2}{6r^2}$$

lockthurm—
 das Meeres-
 berechnete
 eeresniveau,
 so erhalten
 renz beider
 würde für
 on sich er-
 u ist, einen
 deuten, ein
 ndes bedeu-
 el diese Ge-
 die für das
 (andauern-
 sen werden
 icher Weise
 von 0,25‰
 t dem aus
 or Finster-
 diesen er-
 auf äusserst
 die Werte
 mmung der
 -0,02 m für
 ermittelten

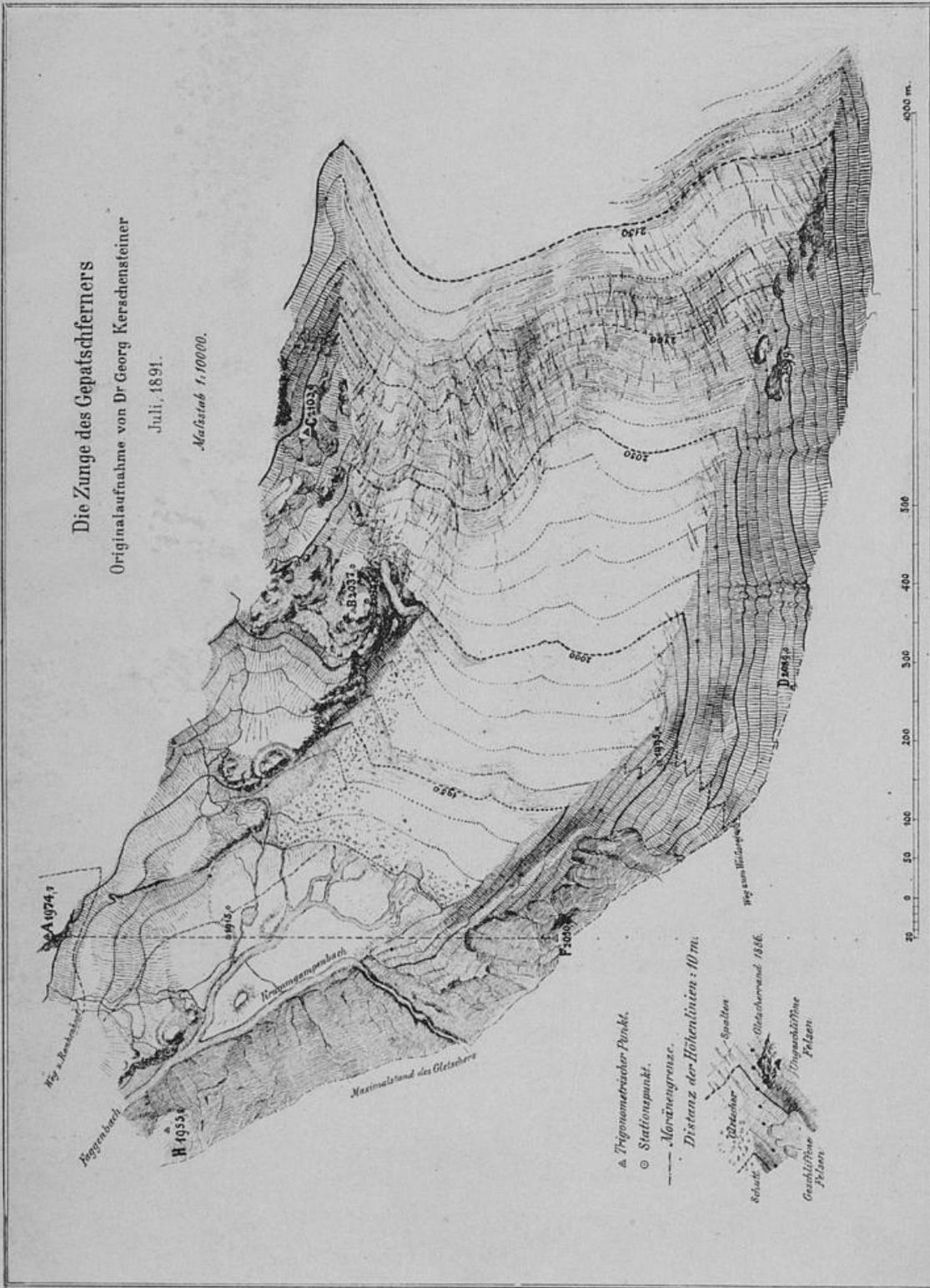
, § 110, oder

Die Zunge des Gepatschferners

Originalaufnahme von Dr. Georg Kerschensteiner

Juli, 1891.

Maßstab 1:10000.



J. B. Obernetter München reprod.

Gez. von Dr. G. Kerschensteiner.

