

Der
Obersulzbach-Gletscher
1880—82.

Von
Eduard Richter.

Mit einer Karte, einer Ansicht, Profilen, einem Diagramm und
sieben Figuren im Text.

Separat-Abdruck
aus der
Zeitschrift des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins.

Salzburg 1883.

Verlag des Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins in Salzburg.

Der Ober-Sulzbach-Gletscher

nach den Original-Aufnahmen
von
E. Richter.
1880 & 1882.

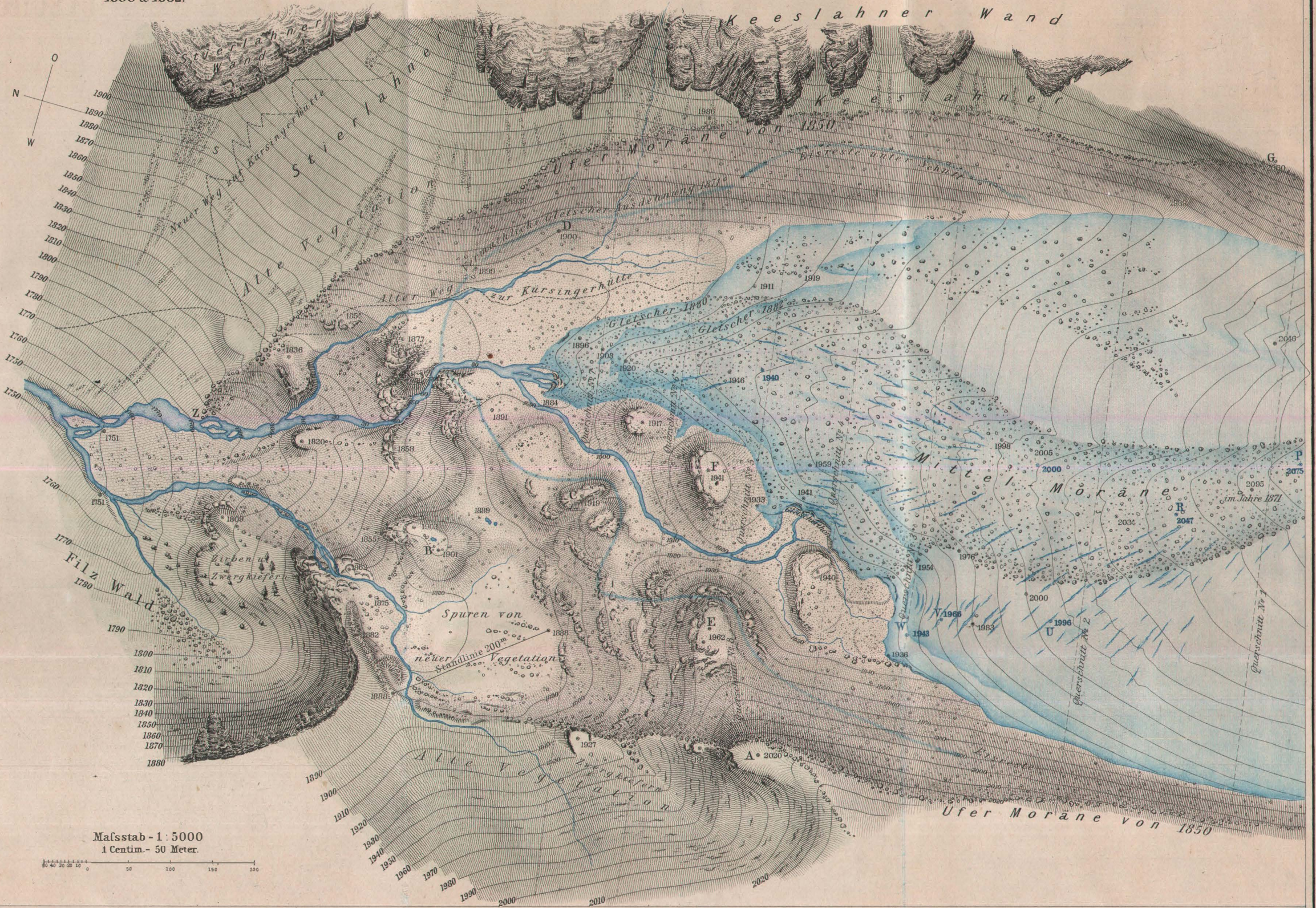
Die blauen Höhenzahlen auf dem Gletscher bedeuten die Ergebnisse der Messungen von 1882.

Gletscher

Vom Gletscher seit langer Zeit nicht mehr berührtes Terrain.

Vom Gletscher erst vor Kurzem verlassenes Terrain.

Vom Gletscher
abgeschliffene nicht geschliffene
Felsen Moräne



Beobachtungen an den Gletschern der Ostalpen.

I. Der Obersulzbach - Gletscher 1880—82.

Von Professor **Eduard Richter** in Salzburg.

Mit 1 Karte (Tafel 1), 1 Ansicht (Tafel 2), Profilen (Tafel 3), 1 Diagramm (Tafel 4) und 7 Figuren im Text.

Veranlassung und Zweck der Beobachtungen. Wer im Jahre 1879 die westlichen Alpen bereiste, mochte Angesichts der ungeheuern Schneemengen, welche noch im Juli und August die Abhänge des Gebirges bedeckten, wohl zu dem Gedanken kommen, dass sich die Periode des Gletscherrückganges, die nun schon seit fast dreissig Jahren in allen Gebirgen Europas herrscht, ihrem Ende nähere. Dadurch trat an alle Jene, welche sich für die Kunde von den Gletschern interessiren, die Mahnung heran, für diesen Fall das Nöthige vorzukehren. Niemand von der jüngeren Generation der Naturforscher hat bisher Gelegenheit gehabt, die Gletscher in einer Periode energischen Vorrückens zu beobachten, noch nie bisher ist aber auch eine Periode des Rückganges so vielfältig und genau studirt worden als die gegenwärtige. Musste also eine Umkehrung der Bewegungstendenz an und für sich schon als ein Gegenstand grossen Interesses erscheinen, so war es um so mehr geboten, den Moment des niedrigsten Standes nicht zu übersehen, da die Gletscher zwar, so lange sie zurückgehen, deutliche und dauerhafte Spuren ihrer früheren Grösse hinterlassen, sobald sie aber vorrücken, Niemand mehr in der Lage ist, anzugeben, wie klein sie waren, wenn nicht eine künstliche Markirung oder graphische Verzeichnung ihres Minimalstandes stattgefunden hat.

Herr Professor A. Favre in Genf benützte daher auch die Abhaltung des III. internationalen alpinen Congresses in Genf im August 1879, um die Mitglieder der Alpenvereine auf diese An-

gelegenheit aufmerksam zu machen, und der Verfasser unterliess nicht, kurz darauf bei der General-Versammlung des D. u. Ö. A.-V. in Saalfelden eine Anregung im gleichen Sinne ergehen zu lassen.

Ich weiss nicht, ob die dankenswerthen Markirungen, welche seither an der Pasterze und an einigen Gletschern der Oetzthal-Stubaier Alpen vorgenommen wurden, auf diese Anstösse zurückzuführen sind. Jedenfalls haben sie bei dem Verfasser den Entschluss gezeitigt, selbst Beobachtungen in angedeuteter Richtung zu unternehmen. Die Resultate derselben, die in manchem Sinne über den ursprünglichen Plan hinausgewachsen, in anderem wieder dahinter zurückgeblieben sind, sollen in Folgendem dargeboten werden. Wie es in der Natur solcher Dinge begründet ist, liegt hier nichts Abgeschlossenes vor; im Gegentheil musste dem Verfasser je länger und eingehender er sich mit dem Gegenstand beschäftigte, der Wunsch immer reger werden, diese Beobachtungen über einen möglichst langen Zeitraum ausdehnen zu können. Das Folgende ist also nur ein Anfang, ein erster Abschnitt, dem noch mehrere Fortsetzungen folgen sollen, — wenn ein gütiges Geschick es gestattet. Dass ich trotzdem mit der Publication vorgehe, hat seinen Grund darin, weil ich dadurch Anregung zu ähnlichen Unternehmungen zu geben wünsche und vielleicht auch hoffen darf, dass aus den gemachten Erfahrungen einige Aufklärungen sich ergeben könnten, nach welchen Richtungen die Forschung weiterhin zu lenken wäre.

Die Voraussetzung der ganzen Sache, dass mit dem Jahre 1879 die Periode des Rückganges ihr Ende erreichen werde, ist nun freilich nicht eingetroffen. Das andauernd schöne Wetter des Spätsommers und Herbstes 1879 vertilgte die aufgehäuften Schneemassen gründlich, und wenn auch von Chamonix Nachrichten einlaufen, dass seither die Gletscher des Mont Blanc-Massivs nicht weiter zurückgingen, so ist doch in den mittleren und östlichen Alpen die Verkleinerung der Gletscher auch in den verflossenen drei Jahren in einer rapiden Weise fortgeschritten. Somit beschränken sich unsere Beobachtungen einstweilen darauf, die Stadien dieses Rückgangprocesses zu verzeichnen; sie werden ihre wahre Absicht und einen grösseren Werth aber erst dann erreichen, wenn die erwartete Zeit der Vorwärtsbewegung eintreten und man dann mit ihrer Hilfe den Verlauf dieses Processes mit Genauigkeit wird studiren können.

Ursprünglich beabsichtigte ich, an möglichst vielen Gletschern der Hohen Tauern Marken in die Felsen einzuschlagen, von denen aus die Verkürzung oder Verlängerung der Längensaxe des Gletschers könnte bemessen werden. Bei näherem Eingehen musste aber einleuchten, dass die Schwankungen der Längensaxe doch nur ein unvollkommenes Bild der Gesamtveränderungen des Gletschers ergeben, und dass es zur Erreichung eines genaueren Resultates nothwendig sein würde, eine kartographische Darstellung der Gletscherenden in einem entsprechend grossen Maasstab zu versuchen, um so alle Umfangs- und Höhenveränderungen genau verfolgen zu können.

Auf diese Weise entstanden nun meine Aufnahmen des Karlinger-Gletschers im Kapruner Thal und des Obersulzbach-Gletschers im gleichnamigen Thale. Die unter den Händen wachsende Grösse der Aufgabe bewirkte es, dass die beabsichtigten weiteren Aufnahmen, besonders eines Gletschers auf der Südseite des Gebirges, unterblieben.*) Auch von den genannten Aufnahmen soll hier nur die letztere mitgetheilt werden, und zwar desshalb, weil ich 1882 in der Lage war, die Veränderungen, welche der Obersulzbach-Gletscher seit 1880 erlitten hat, einzutragen, während ich mir dies beim Karlinger-Gletscher auf ein andermal versparen musste.

Die Karte (Tafel 1), welche der Arbeit beiliegt, ist also' eigentlich das Resultat und der Hauptzweck meiner Arbeiten, und diese Zeilen sollen nur dazu dienen, sie zu erläutern und einige Folgerungen auszusprechen. Sie bringt den Zustand des unteren Endes des Gletschers in den Jahren 1880 und 1882 zum Ausdruck und gibt zugleich das Vorterrain, soweit es in den letzten Jahrzehnten, als der Gletscher seinen Maximalstand innehatte, vom Eise bedeckt war, gestattet also, die Dimensionen von damals zu erkennen; sie liefert endlich die Möglichkeit, auch künftighin die Gletscherstände mit den gegenwärtigen zu vergleichen, und da die wichtigsten Punkte des Dreiecknetzes dauernd vermarkt und mit Hilfe der Karte leicht aufzufinden sind, so kann diese Beobachtung in der Folge auch von anderen Personen vorgenommen werden.

*) Die Pasterze, welche durch ihre Grösse und die nahegelegene bequeme Unterkunft des Glockner-Hauses einzuladen schien, musste ich desshalb bei Seite lassen, weil das in einer engen Schlucht auslaufende Gletscherende der kartographischen Aufnahme bedeutende Schwierigkeiten entgegengesetzt hätte.

Instrumente und Arbeits-Methode. Meine Ausrüstung war im allgemeinen derjenigen der Mappeure des k. k. Militär-geographischen Instituts nachgebildet und bestand sonach aus einem leichten Messtisch mit Diopterlineal, Bussole und Libelle und einem Theodoliten, welcher Höhenwinkel von 5 zu 5 Minuten abzulesen gestattet. Diese Instrumente sind Eigenthum des k. k. Gymnasiums in Salzburg, und ich sage hiemit meinem hochverehrten damaligem Chef, Herrn Schulrath Dr. Pick, den besten Dank für die gütigst ertheilte Erlaubniss, sie zu benützen. Als Begleiter unterstützte mich 1880 mein Schwager Herr Oskar Seefeldner, k. k. Lieutenant im 59. L.-I.-Regiment, und als Handlanger diente beide Male der Bergführer Joh. Punz genannt Breis aus der Ramsau bei Berchtesgaden.

Am 28. Juli 1880 trafen wir nach Beendigung der Aufnahmen am Karlinger-Gletscher im Obersulzbachthal ein, und nahmen für etwa zwei Wochen in der hintersten Alphütte, der Ascham- oder Hoferalpe, Quartier. Der Aufenthalt in dieser engen und sehr unreinlichen Hütte war keineswegs angenehm. Wir mussten nicht bloß die einfachsten Bequemlichkeiten entbehren, sondern litten bei schlechtem Wetter auch durch Nässe und Kälte. Ausserdem musste der Proviant, soweit er nicht aus Conserven bestand, aus dem 4 Stunden weit entfernten Neukirchen herbeigeschafft werden, und bei dem allen hatten wir noch täglich etwa 300 m bis zum Gletscherende emporzusteigen.*)

Anfangs beabsichtigte ich, die Punkte zu benützen, welche durch die Originalaufnahme der Militärmappirung festgestellt sind, um die eigenen Aufnahmen daran zu knüpfen. Bald zeigte sich aber, dass der Unterschied des Maasstabs zu gross sei, um eine solche Verwerthung ohne grobe Fehler zu gestatten, da ich im Maasstab von 1 : 5000 zu arbeiten beabsichtigte, die Originalaufnahme aber im Verhältniss 1 : 25 000 hergestellt ist, und ausserdem noch die

*) Die Kürsinger-Hütte, ein von der Alpenvereins-Section Salzburg erbautes Schutzhaus, welches viel bessere Unterkunft gewähren würde, liegt für Beobachtungen am Gletscherende zu hoch (2656 m) und zu fern (2 Stunden). Mögen diese keineswegs unbedeutenden materiellen Erschwerungen uns Bewohnern der Ostalpen zur Entschuldigung dienen, wenn wir bisher hinter den Schweizern in solchen Unternehmungen zurückgeblieben sind, welche unter ganz anderen Verhältnissen arbeiten können.

Veränderungen des Papiers bei der photographischen Copie der Originalaufnahmen Fehlerquellen werden konnten. Ich zog daher vor, auch hier wie beim Karlinger-Gletscher eine neue Basis abzumessen, für welche sich auch eine geeignete Ebene vorfand. Diese Basis von 200 m Länge gestattete durch ihre Lage in einer mittleren Höhe (1888 m) zugleich das Dreiecknetz nach aufwärts und abwärts auszudehnen. Auf dem Arbeitsfeld befand sich glücklicherweise ein leicht aufzufindender Punkt der Originalaufnahme, auf welchem noch die Reste eines Triangulierungszeichens zu sehen waren, der Punkt *A* unserer Karte, dessen Höhe mit 2020 m auch für alle übrigen von uns gemessenen Höhen den Ausgangspunkt bildete. Die Himmelsrichtung wurde nach drei trigonometrisch bestimmten Berggipfeln festgestellt. Es wurden im ganzen 54 Punkte nach Höhe und Lage genau bestimmt und der Messtisch an 18 Aufstellungspunkten placirt. Eine besondere Schwierigkeit lag in den grossen Höhendifferenzen der verschiedenen Partien des Arbeitsfeldes, welches von 1750 bis 2040 m ansteigt, ferner in der Mitte durch eine grosse Stufe wie abgebrochen und ausserdem von *A* über *E* nach *C* durch einen Rücken abgetheilt ist, so dass es in drei, und wenn man die Ebene von Punkt 1877 bis zum Gletscheranfang dazu rechnet, in vier gesonderte Gebiete zerfällt, welche gegenseitig keinen Einblick gestatten. Die wenigen beherrschenden Hauptpunkte *A*, *B* und *C* wurden schon 1880 mit in den Felsen eingeschlagenen und geschwärzten Zeichen und darüber errichteten Steinmännern markirt. Auf *A* und *C* ist ein gleichschenkliges Kreuz in einen Gletscherschliff, auf *B* eine quadratische Grube in einen grösseren Block eingeschlagen und mit schwarzer Farbe bestrichen. Da auf *D*, *E* und *F* die 1880 errichteten Steinmänner noch intact standen, so wurden 1882 auch diese Punkte dauernd markirt, und zwar *D* und *E* mit quadratischen Gruben und schwarzer Schrift wie *B*; *F* hingegen, da es auf lockerem Schutt befindlich ist, durch Einschlagen eines etwa $\frac{1}{2}$ m langen Holzstückes, über welches eine grössere Platte gelegt und ein Steinmann gebaut wurde. Uebrigens standen 1882 fast noch alle 1880 errichteten Signale und konnten für die neue Vermessung benutzt werden. Nachdem wir es zuerst mit Fahnen versucht hatten, fanden wir später, dass das sichtbarste Signal ein schlanker, etwa 1 m hoher Steinmann sei, als dessen Spitze ein weisser kopfgrosser

Quarzblock gewählt wurde. Doch war es überhaupt nicht leicht, in dem Gewirre gleichfärbig grauer Schutthaufen und Blockberge, als welches sich fast das ganze früher vom Gletscher bedeckte Gebiet darstellt, die errichteten Signale herauszufinden.

Im Jahre 1882 traf ich am 19. August mit Breis in Obersulzbach ein, und nahm Quartier in der seitdem errichteten gräflichen Jagdhütte (ehemals Krausenalpe), etwa 8 Minuten ausserhalb der Aschamalpe. Da diese Hütte ein heizbares und helles Stübchen, gedielte Fussböden und Wände besitzt, so ist der Aufenthalt daselbst weit angenehmer als in der Aschamalpe, und ich konnte die Regentage, welche auch dieses Jahr nicht fehlten, doch mit Lesen und Zeichnen verbringen. Ich sage dem Herrn Grafen M. v. Hohenthal hiemit meinen besten Dank für die grosse Erleichterung meiner Arbeit, welche er mir durch Ueberlassung dieser Hütte zu schaffen die Güte hatte. Die wenigen Sonnenblicke, welche die Woche vom 19. bis 26. August 1882 erhellten, benützte ich, um von den erwähnten Punkten aus die Lage des Gletscherendes und dessen Einsinken festzustellen und Einiges an der früheren Aufnahme zu ergänzen. Ausserdem nivellirte ich, etwas weiter gletscheraufwärts als die vorliegende Karte reicht, einen Querschnitt und markirte sowohl diese Linie als auch eine Anzahl anderer Punkte auf dem Gletscher, um über dessen Bewegung und die Veränderung seiner Oberfläche weiter oben Aufschluss zu erhalten. Es liegt in der Natur der Sache, dass ich über die Ergebnisse dieser Arbeit erst ein nächstes Mal berichten kann.

Geschichte des Rückganges des Obersulzbach-Gletschers. Wie erwähnt, war der Hauptzweck der Aufnahme die Feststellung des jetzigen Standes des Gletschers, um bei dem erwarteten oder doch in Zukunft sicher eintretenden Wiedervorschreiten Anhaltspunkte für die Beobachtung desselben zu besitzen. Es konnte jedoch vorausgesetzt werden, dass eine genauere Aufnahme auch über die Stadien des Rückganges Aufschluss geben müsse, da ja vorgeschobene Moränenwälle und Aehnliches nicht fehlen konnte. Zwar trifft diese Voraussetzung keineswegs überall in gleicher Weise zu. So war es beim Karlinger-Gletscher fast vollkommen unmöglich, zu erkennen, wie weit er in dem ebenen Trümmerfeld des Mooserbodens vor einigen Jahren vorgeschoben gewesen, und nur einige Spuren von Seitenmoränen am

rechten Ufer verriethen einen bedeutenden Verlust an Dicke. Hingegen lehrte schon der erste Blick auf das Vorterrain des Obersulzbach-Gletschers, dass hier eine ganz ausgezeichnete Gelegenheit vorliege, die Abnahme des Gletschers sowohl an Länge als an Dicke mit grosser Genauigkeit zu bemessen. Die Gründe hiervon sind: einmal dass der Gletscher eine regelmässig gebildete Thalspalte ihrer ganzen Breite nach ausfüllt und somit beim Einsinken an den gleichmässig etwa 25° geneigten Böschungen seine Ufermoränen als deutlich verfolgbare, 2 km lange ununterbrochene Linien zurückgelassen hat; ferner reichte das Gletscherende früher verhältnissmässig tief ins Thal, nämlich bis 1760 m, was für die Ostalpen eine der tiefsten Lagen ist. In Folge dessen ist der Boden allenthalben mit einer sehr kräftigen und zusammenhängenden Vegetation bedeckt; ein geschlossener Wald von herrlichen Zirbelkiefern, der Filzwald, zieht sich unmittelbar neben dem Gletscher bis zu einer Höhe von etwa 1950 m hinan und einzelne Zirben stehen noch in einer Höhe von fast 2100 m auf jenem kleinen Plateau, welches sich unterhalb des grossen Jaidbachgletschers, über dem Filzwald befindet. An der Ostseite des Gletschers finden sich hochgrasige Weidestellen, die sog. Keeslahner, noch 2 km weit thaleinwärts neben dem Gletscher. Dadurch wird nun bewirkt, dass das Terrain, welches noch vor kürzerer Zeit vom Gletscher bedeckt war, in seiner Vegetationslosigkeit und frischen Schuttüberlagerung sich auf das allerdeutlichste abhebt und bis auf den Meter genau erkennen lässt, wie weit der Gletscher bei seiner letzten Wachstumsperiode gekommen ist. (Vgl. die Ansicht Tafel 2.)

Diese Grenze der alten Vegetation, welche je weiter abwärts immer schärfer wird, ist durch den grünen Ueberdruck auf der Karte gekennzeichnet. Sie ist auch bei *A* in einer Höhe von 2020 m oder bei Punkt 2013 an der rechten Thalwand noch völlig deutlich, besonders auffallend aber z. B. bei Punkt 1927 am linken Ufer unterhalb *A*, wo die Moränenblöcke vom Gletscher über die Schneide bei 1977 herübergeschoben wurden, dann herabkollerten und nun blendendweiss und frisch zwischen den Legföhren und den dickbemoosten Trümmern liegen, welche von der linken Bergwand in früherer Zeit dorthin abgestürzt waren; oder bei 1809 am unteren Ende, wo der östliche Theil einer kleinen Felswand

blank abgescheuert und mit Geröll bestreut, der westliche aber mit dicken Graspolstern und Zwergföhrenbüschen gekrönt und von dem Ueberzug der Flechten dunkelgrau gefärbt erscheint.

Es fragt sich nun vor allem, wann der Gletscher diese so deutlich markirte Grenze zuletzt ausgefüllt hat. Es ist leicht festzustellen, dass dieses vor nicht langer Zeit geschehen sein kann, denn das Gebiet innerhalb der letzten Moränen zeigt selbst ganz am Rande nur erst die Anfänge einer neuen Vegetation. Und doch geht auf dem grauen Gneissand, der dort überall den Boden bedeckt, die Wiederansiedelung der Pflanzenwelt so rasch vor sich, dass nicht bloß mir, sondern auch meinem Führer, sofort als wir 1882 unser Terrain wieder betraten, der Fortschritt auffiel, den die Verbreitung der Pflanzenwelt innerhalb der zwei letzten Jahre gemacht hatte. Trotzdem ist aber noch heute die Grenze allenthalben ganz scharf und unzweifelhaft. Andererseits zeigt sich, dass auch der Gletscher jenen Maximalstand, den er jüngstens erreicht hat, seit mehreren Jahrhunderten nicht überschritten haben kann, sondern eher hinter ihm zurückgeblieben sein muss. Denn knapp neben dem Moränenwall, der aus der neuesten Zeit stammt, stehen mehrhundertjährige Zirben, ja einige von diesen, welche sich unter dem Felsen bei 1862 befinden, sind von Moränengeschieben umlagert und dadurch zum Absterben gebracht worden. Dorthin kann also der Gletscher durch mehrere Jahrhunderte nicht gekommen sein.

Die übereinstimmende Nachricht der Einheimischen geht nun dahin, dass der Maximalstand etwa im Jahre 1850 erreicht worden sei und dass bald darauf der Rückgang begonnen habe. Die Venediger-Besteiger der vierziger Jahre sprechen von dem gewaltig zerklüfteten Gletscher, der bis zur Ebene der letzten Alpen herabreichte und aus dessen grossem Eisthor der Bach in einer Cascade hervorbrach.*)

*) So stellt den Gletscher auch ein Aquarell Thomas Enders dar, welches einem bekannten Farbendruckbilde in Grafes Album der Deutschen Alpen zur Vorlage diente. Doch sind Details nicht zu erkennen, wie überhaupt das ganze Bild offenbar aus zwei Studien zusammengezogen ist, denn der Venediger ist von dem Standpunkt des Malers gegenüber dem Gletscherende nicht zu sehen, sondern erst viel weiter thaleinwärts.

Auf dem Kamm der Moräne der rechten Thalwand führt ein schlechter Schafsteig zu den Keeslahner-Weiden, welcher etwa 100 m hinter Punkt 1986 durch eine vorspringende Felsnase unterbrochen wird. Dort muss man jetzt in die Böschung der Moräne hinabsteigen — im Jahre 1850 konnte man nach Aussage eines Schafhüters diese Ecke auf dem Eis umgehen, welches bis dahinauf reichte. Gegenwärtig ist das Eis dort ganz verschwunden, und man müsste 70 m hinabsteigen, um auf den alten Gletscherboden zu gelangen. Dieser Maximalstand des Gletschers ist auf der Karte durch das Fehlen des grünen Ueberdruckes erkenntlich. Bis zu dessen innerem Rande reichte derselbe etwa 1850.

Sehr werthvoll sind die Nachrichten v. Sonklars in seinem berühmten Werke: Die Hohen Tauern, S. 59. Er berichtet vom Zustand des Gletschers im Jahre 1860: »Der Endabfall des Gletschers liegt auf der oben erwähnten Senkung der Thalsohle, durch dieselbe mannigfach zertheilt und gleichsam desorganisirt, so dass einzelne Eisstreifen in verschiedene Tiefen herabhängen. Einer dieser Streifen, dem Venediger-Zufusse angehörig, reicht fast bis auf die untere Thalstufe herab. Mächtige Schuttmassen bedecken übrigens alle Theile des Gletscherendes so vollkommen, dass das Vorhandensein des Eises abwärts des oberen Randes der Thalsenkung nur aus unmittelbarer Nähe erkannt werden kann. Der Beginn dieser Thalsenkung macht sich auf dem Gletscher durch eine starke transversale und schräge Zerklüftung des Eises bemerkbar. — Dass unter solchen Umständen von einem Gletscherthore nicht die Rede sein kann, versteht sich von selbst. Der Bach bricht an vielen Stellen unter dem Schutt hervor und alle seine Theile vereinigen sich erst am Fusse des Absturzes in einem gemeinschaftlichen Bette.

Nach der Aussage des Hirten ist der Obersulzbach-Gletscher gegenwärtig (d. i. 1860) im Rückzuge begriffen, und dies stimmt denn auch mit meinen eigenen Beobachtungen zusammen. Die Randmoränen liegen bereits etwa 30' über dem Niveau der Gletscher-Oberfläche und haben sich beträchtlich ausgebreitet; auch die Stirnmoräne bedeckt eine Fläche, die von ihrem thalabwärts gewendeten Rande bis zum äussersten Eisstreifen eine Breite von 200 Schritten (= 150 m) hat. Der Rückzug des Gletschers muss demnach im ganzen schon eine Reihe von Jahren hindurch stattfinden.«

Ausserdem gibt v. Sonklar die Meereshöhe des Gletscherendes mit 5613 W. F. = 1774 m an. Diese Höhenangabe ist ganz verlässlich und mit den von der Specialkarte und mir gefundenen wohl vergleichbar, weil die Höhenangabe der Krausen-*alpe* bei Sonklar 5308 W. F. = 1677 m gleich ist der Höhengote in der Original-Aufnahme mit 1677 m für die Hofer- oder Aschamhütte, und Sonklar mit der »Krausenhütte« der Lage auf der Karte nach die letztere meint. Die Höhe von 1774 m ist aber nahe dem Ende der alten Moränen bei *Z*. Dieser Punkt *Z* scheint also damals (1860) fast der Endpunkt des Gletschers gewesen zu sein, denn er liegt auch gerade 150 m vom äussersten Ende des schuttbedeckten Terrains, wo die Bäche sich vereinigen. Was die verschiedenen Eisstreifen betrifft, welche also über die grosse Stufe, zwischen den Punkten 1877 und 1862, herabhängend zu denken sind, so ist anzunehmen, dass der Hügel von *B*, dessen steile Nordseite dem Anschein nach stets eisfrei gewesen ist, hauptsächlich das Gletscherende zertheilt hat, und dass ein Lappen in der Richtung des Baches, ein kleinerer zwischen *B* und 1862 zu Thal gegangen ist. Hiezu stimmt auch die Aussage des Oberjägers Anton Rainer von Neukirchen, dass im Beginn der sechziger Jahre die Basisebene noch mit Eis bedeckt gewesen sei. Doch dürfte das nur ein flacher Eiskuchen gewesen sein, da derselbe bei Punkt 1882 nur niedrige Moränenwälle deponirte und über die Felswand dahinter nicht einmal einzelne Blöcke hinabwarf. Die Höhenabnahme von 10 m ist noch unbedeutend im Vergleich zur jetzigen.

Die nächste genauere Aufklärung über den Rückgang des Gletschers gibt die Original-Aufnahme der österreichischen Militärmappirung, welche 1871 vorgenommen wurde. Der Maasstab 1 : 25 000 würde genügen, auch Einzelheiten zu erkennen, wenn die betreffenden Felspartien nicht zufälligerweise einige Ungenauigkeiten enthielten, wie sie glücklicherweise nicht häufig in der Original-Aufnahme vorkommen. Da der Mappeur sich wahrscheinlich mehr auf den höheren Partien der Bergabhänge aufgehalten hat, so ist ihm die früher angedeutete reiche Gliederung des Terrains am Gletscherende nicht klar geworden; er hat nämlich den Rücken von *E* mit dem Hügel *B* in einen Kamm zusammengezogen und das Dasein der Basisebene völlig übersehen. Daher kann man über den Verlauf des Gletscherendes nur Vermuthungen aus-

sprechen. Doch sieht man das eine deutlich, dass der Gletscher damals über den Rand der grossen Stufe nicht mehr hinabging, denselben jedoch noch überall erreichte. Zwischen *C* und *E* scheint ein dreieckiger Eiszipfel auf die Basisebene hinabzureichen. Dieser vermuthliche Stand von 1871 ist auf unserer Karte mit einer blauen Linie angedeutet.

Als der Verfasser 1875 den Obersulzbach-Gletscher auf dem Wege zur Kürsinger-Hütte überschritt, dürfte er denselben beiläufig in der Gegend des Punktes *D* betreten haben. Der Stand von 1880 und 1882 ist aus der Aufnahme deutlich zu ersehen.

Maassbestimmungen. Es wird sich jetzt darum handeln, festzustellen, wie weit sich die Verminderung des Gletschers nach der vorliegenden Aufnahme ziffermässig ausdrücken lässt.

Der horizontale Abstand der Punkte 1751 und 1884 beträgt 523 m. Ich halte es jedoch für unwahrscheinlich, dass der Gletscher jemals bis 1751 gereicht habe, wenn dies auch das Ende des schuttbedeckten Terrains ist, sondern schliesse aus der Convergenz der Seitenmoränen, dass sein vorgeschrittenster Punkt etwa 90 bis 100 m weiter rückwärts, zwischen den Jsohysen 1770 und 1780 sich befunden haben dürfte. In diesem Fall hat also der Gletscher von 1850 bis 1880 nur etwa 430 m an Länge verloren, das ist also für ein Jahr 14·3 m. Diese Rückgangsziffer vertheilt sich ohne Zweifel sehr ungleichmässig auf die 30 Jahre. Denn von Ende Juli 1880 bis Ende August 1882 (25 Monate) betrug der Rückgang*) nicht weniger als 69 m; also für 12 Monate 33·12 m, eine bedeutende Summe, deren Genauigkeit aber keiner Anfechtung unterliegt. Vom Gesamt-rückgang seit 1850 mit rund 500 m dürfte also nach Obigem der grösste Theil auf die letzten 10 Jahre fallen, während auf die ersten Jahre der Rückgangsperiode nur je einige Meter kommen werden.

*) Ich brauche wohl hier nicht erst auszuführen, dass von einem Rückgang im wahren Sinne des Wortes, also von einem Zurückkriechen einer früher weiter vorne befindlichen Eispartie nach rückwärts nie die Rede sein kann, sondern nur von einer Verkürzung des Gletschers, welche dadurch eintritt, dass die vordersten Partien abschmelzen und nicht mehr durch Nachschub ersetzt werden. Ich würde diese Anmerkung nicht hieher gesetzt haben, wenn das angedeutete Missverständniss mir nicht schon mehrmals untergekommen wäre.

Im Vergleich zu der Gesamtlänge des Gletschers, welche zur Zeit seines grössten Standes etwa 5800 m betrug, erscheint diese Zahl nicht sehr bedeutend. Sie ist es auch nicht gegenüber dem gleichzeitigen Rückgang mehrerer Schweizer Gletscher; so verkürzte sich von 1850 bis 1880 das Eismeer von Chamonix (Glacier des bois) um 1050 m, der Brenvagletscher um 1000 m, der Rhonegletscher um 900 m.*)

Ganz anders sieht sich die Sache an, wenn man nicht die Verkürzung der Längsachse, sondern die Grösse der Fläche in's Auge fasst, die durch den Rückgang des Gletschers eisfrei geworden ist. Der Raum, welcher auf der Karte, Tafel 1, als vom Gletscher verlassenes Terrain zwischen dem blau bezeichneten jetzigen Gletscher und der grünen Vegetationsgrenze sich ausdehnt, repräsentirt in Natur eine Fläche von 459 362 qm.***) Dazu kam von 1880 bis 1882 ein weiterer Zuwachs von 42 425 qm, so dass die gesammte bisher von Eis entblösste Fläche 501 787 qm beträgt.

Aber auch diese Angabe ist noch nicht der richtige Ausdruck für die Veränderung, welche der Gletscher erfahren hat. Diese kommt zu einer erschöpfenden Darstellung erst durch die Bemessung des Verlustes an Dicke, wozu die folgenden Querschnittberechnungen und die Profile auf Tafel 3 die Illustration liefern sollen.

Diese Querschnitte zeigen, dass die Verminderung der Dicke des Gletschers verhältnissmässig weit bedeutender und für den Gesamtverlust an Eis viel maassgebender ist als die Verkürzung der Längsachse. Auf dem grössten Theil unserer Karte sind die Seitenmoränen um mehr als 30 m höher als der jetzige höchste Punkt des aufgewölbten Gletschers, an vielen Stellen um 50 m. Wenn man aber berücksichtigt, dass der jetzige Gletscher in seiner mittleren Aufwölbung noch immer 30 bis 40 m dick ist und dass der einstige Gletscher doch gewiss auch aufgewölbt war, so erhält man stellenweise eine Dicke des letzteren von mehr als 100 und einen Substanzverlust von 50 bis 80 m. Besonders an einigen Punkten ist das Verhältniss überraschend. Bei A liegt der obere Rand der Moräne etwa 2018 m hoch (2 m tiefer als A); der ebene Thalboden unterhalb liegt aber nur 1930 m hoch. Dort

*) Nach Forel, Zeitschrift des D. u. Ö. A.-V. 1882, 314.

**) Ich verdanke diese sämtlichen planimetrisch vorgenommenen Flächenmessungen der Güte meines Schwagers Dr. Max v. Frey in Leipzig.

Querschnittberechnung.

Cub.-Meter

1. Dreieck zwischen Querschnitt 1 und Kartenrand:
 $\frac{1}{2}$ Höhe = 47·75 m \times Querschnitt 1 34172 qm gibt Cubikinhalte 1·601 712
2. Körper zwischen Querschnitt 1 und 2.
 Querschnitt 1 = 34 172 qm
 » 2 = 34 088

 68 260; Mittel = 34 130 \times 200 m Distanz . 6·826 000
3. Körper zwischen Querschnitt 2 und 3.
 Querschnitt 2 = 34 088
 » 3 = 42 900

 76 988; Mittel = 38 494 \times 200 m Distanz . 7·698 800
4. Körper zwischen Querschnitt 3 und 4.
 Querschnitt 3 = 42 900
 » 4 = 41 309

 84 209; Mittel = 42 104·5 \times 100 m Distanz 4·210 450
5. Körper zwischen Querschnitt 4 und 5.
 Querschnitt 4 = 41 309
 » 5 = 33 734

 75 043; Mittel = 37 521·5 \times 100 m Distanz 3·752 150
6. Körper zwischen Querschnitt 5 und 6.
 Querschnitt 5 = 33 734
 » 6 = 31 335

 65 069; Mittel = 32 534·5 \times 100 m Distanz 3·253 450
7. Körper zwischen Querschnitt 6 und 7.
 Querschnitt 6 = 31 335
 » 7 = 27 270

 58 605; Mittel = 29 302·5 \times 100 m Distanz 2·930 250
8. Dreieckiger Körper von Querschnitt 7 bis zum Gletscherende.
 $\frac{1}{2}$ Höhe 205 m \times 27 270 (= Querschnitt 7) = 6·817 500
-
- Summe** des Eises, um welches auf dem Raum der Karte der alte Gletscher grösser war, als der jetzige. 35·388 600

Dazu kann ich noch rechnen den Verlust von der Grenze der Karte aufwärts bis zur Isohypse 2400 m, bei der die eigentliche Eiszunge beginnt, mit 25 bis 30 m durchschnittlich. Dieses Stück Gletscher hat einen Flächenraum von 1·018 131 qm. Rechne ich also einen Substanzverlust von 25 m, so gibt das 25·453 275 cbm, nimmt man 30 m an, so gibt das 30·543 930 cbm;

Im ersteren Fall also einen Gesamtverlust von 60·841 875
 im zweiten Fall von 65·932 530

Die Berechnung nach vier etwas anders liegenden Querschnitten ergab
 und 62·921 484
 und 68·633 984

war also der Gletscher mindestens 90, vielleicht 100 m dick und ist völlig verschwunden. Bei Punkt 1986 (am rechten Ufer) beträgt der senkrechte Abstand des Moränenrandes vom jetzt eisfreien Boden 80 m, etwa ebensoviel beim weiter thaleinwärts gelegenen Punkt 2013. Da es nun keinem Zweifel unterliegt, dass der einstige Gletscher, wie gesagt, hoch aufgewölbt war, wie es alle vorschreitenden Gletscher sind, so ersieht man, dass die Verminderung an Dicke für die Schätzung des Gesamtverlustes eine viel wichtigere Sache ist, als die Verkürzung der Längenangabe. Man kann dies auch ziffermässig ausdrücken. Aus den Querschnitten ergibt sich, dass die Eisdicke auf dem Gebiet, welche von der jetzigen Spitze des Gletschers abwärts liegt, mindestens 40 m betragen haben muss. Daraus lässt sich berechnen, dass der Eisverlust, wenn der Gletscher sich um die angegebene Zahl von 500 m verkürzt hätte, ohne übrigens an Dicke zu verlieren, etwa 6 000 000 cbm betragen würde. Die sogleich näher zu erläuternde Berechnung des wirklich stattgehabten Verlustes ergibt aber die Zahl von 60 000 000 cbm. Daraus folgt, dass die Angabe des Rückganges, durch das Maass der Verkürzung der Längenangabe ausgedrückt, keineswegs ein entsprechendes Bild der Verminderung der Eismassen zu bieten vermag. Dies ist von Wichtigkeit, denn es hat ohne Zweifel schon zu vielen Missverständnissen Anlass gegeben. Wenn wir z. B. lesen, dass der Unteraargletscher nur um 40 m sich zurückgezogen hat, während der benachbarte Rhonegletscher gleichzeitig um 900 m zurückwich,*) so ist diese Angabe geeignet, die sonderbarsten Vorstellungen und Fragen über ein so ungleichmässiges Verhalten zweier Gletscher anzuregen, welche doch unter den ähnlichsten Verhältnissen existieren. Wenn wir aber dann hören, dass der Verlust an Dicke, den derselbe Unteraargletscher erlitten hat, so gross ist, dass er beim sog. Pavillon Dollfuss, 4 ½ km von Gletscherende entfernt, noch 47 m beträgt (während er beim Obersulzbach-Gletscher 3 km aufwärts nur mehr 20 m ausmacht), so erkennen wir, dass der Unteraargletscher ganz demselben Vorgang unterliegt, wie sein Nachbar, und wahrscheinlich verhältnissmässig nicht weniger Eis verloren hat, als dieser. Dass keine eben solche Verkürzung stattgefunden hat, ist nur in den zufälligen

*) Fr. Becker, Jahrbuch des S. A.-C. XVI, 529.

Verhältnissen des Baues des Bettes und in der Schuttbedeckung begründet. Ich glaube, dass auf diese Weise sich viele angebliche Ungleichheiten in den Vor- und Rückbewegungen benachbarter Gletscher, die zu mancherlei Unklarheiten und Zweifeln auch in der Theorie dieser Bewegungen Anlass gegeben haben, befriedigend erklären würden. Ich werde μ mir hierüber später noch einige Bemerkungen erlauben.

Die verschiedenen Höhen, in welchen die Ufermoränen beim Obersulzbach-Gletscher sich an den Thalwänden angelagert finden, geben auch recht interessante Aufschlüsse über die Art, in welcher ein Gletscher den Krümmungen seines Bettes sich anschmiegt, oder eigentlich nicht anschmiegt. Während von der sog. Türkischen Zeltstadt abwärts die Thalbreite stets so ziemlich die gleiche war, verengert sich dieselbe durch den von links her vorspringenden Felsrücken von *A*, der sich dann nach *E* fortsetzt, etwa um ein Fünftel. Dies genügte, um die Moränen zuerst bei *A*, wo sich der Eisstrom staute, auf die bedeutende relative Höhe von 90 m zu bringen; dann aber warf sich der abgelenkte Strom an die entgegengesetzte Thalwand und dort sind die Moränen ebenfalls 90 m über dem Thalboden abgelagert worden. So stark war diese Ablenkung, dass der Eisstrom auf dieser rechten Seite hoch über dem ebenen Boden sich um den Schuttkegel »Stierlahner« herumwand, während links hinter dem Rücken *A* ein »todter Winkel« entstand, und der Gletscher nicht mehr genug Material besass, um das Thälchen zu erreichen, welches sich hinter *A* herabzieht, und mit seinem dicken Gestrüppe von Legföhren und einem dichten Graswuchs deutlich anzeigt, dass es seit undenklichen Zeiten nie mehr von Eis bedeckt war. So kommt es, dass also bei Querschnitt No. 7 die rechte Ufermoräne 1965 m, die linke nur 1910 m, bei Querschnitt No. 8 die rechte 1950, die linke 1890 m hoch sich befinden. Daher auch, dass das einstige Gletscherende knapp an der rechten Thalwand angeschmiegt seinen tiefsten Punkt bei 1780 m (*Z*) erreichte, während links die äussersten flachen Eiskuchen nur bis zum nördlichen Endpunkt meiner Standlinie mit 1888 m gelangten. Die Querschnitte illustriren diese Verhältnisse übrigens besser als viele Worte.

Auch über die Art der Abschmelzung, resp. Vernichtung der Gletscher will ich einige Beobachtungen beifügen. Schon der erste

Blick auf die Karte lehrt, dass die Schuttbedeckung der Moränen das meiste dazu beiträgt, den Gletscher zu erhalten. Als ein schmaler und steiler Wall erhält sich das Eis, das durch Schutt geschützt ist, ja auf etwa 400 m Länge besteht der Gletscher überhaupt fast nur aus der Mittelmoräne. Wo der Schutt fehlt, da läuft der Gletscher als dünner Kuchen aus, dessen Vernichtung bei warmem Sommerwetter in fast sichtbarer Weise vor sich geht. Die vom Boden aus wirkende Wärme hat unten muschelartige Hohlräume ausgehöhlt, und so dünn sind die letzten Ausläufer, dass derjenige, der den Gletscher betritt, sich vorsehen mag, nicht mit einem all zu starken Tritt einige Quadratmeter der morschen Substanz abzubrechen und mit ihnen in die überall hervorströmenden Schmelzbächlein zu stürzen. An diesen Stellen — besonders an der rechten Thalwand zwischen den Punkten 1911 und 1919 — war das Eis 1880 mehrere 100 Schritte aufwärts nur wenige Meter dick. Dort ging auch die Vernichtung ungemein rasch vor sich und wird auch ferner rapid vorwärtsschreiten.

Wo das Eis durch Schutt geschützt ist und grössere Dicke erhält, dort ist es die Zerreißung durch Spalten, welche am meisten die Zerstörung fördert. Das konnte ich am besten in der Gegend des linken Gletscherthores, wo der kleinere Arm des Baches entspringt, beobachten, wo trotz grösserer Dicke das Zurückweichen des Gletschers fast ebenso stark war, als an der Spitze. Hier ist das Eis 1880 durch zahlreiche tiefe Spalten zerklüftet gewesen; man sah genau, wie die ganzen Eiskörper zwischen zwei solchen Spalten vom eigentlichen Gletscher losgelöst in sich zusammenbrachen und einer nach dem andern sich nach vorwärts überstürzte. Da die gebrochenen Trümmer häufig in Schmelzwasser fielen, so waren sie um so schneller vernichtet. Die Zerklüftung ist jedenfalls eines der stärksten Mittel, das der Natur dient, die Eismassen der Gletscher wegzuschaffen. Ich brauche wohl kaum dazu zu fügen, dass die Endpartien des Obersulzbach-Gletschers momentan als schmutz- und schuttbedeckte niedere Eisbrocken sich keineswegs malerisch oder grossartig präsentiren.

Ich habe nun aus den Querschnitten, den bekannten Flächeninhalten und anderen Daten die Gesamtmasse, um welche sich der Gletscher vermindert hat, zu berechnen versucht. Die Details

dieser Berechnung finden sich in der Tabelle S. 15. Ich gebe hier nur das Resultat und dies ist folgendes:

Es kann die Masse des Eises, um welche der Obersulzbach-Gletscher (unterhalb der Jsohypse von 2400 m, das ist auf der eigentlichen Gletscherzunge) in den letzten 30 Jahren kleiner geworden ist, auf 60 Millionen Cubikmeter geschätzt werden. Diese Zahl ist gewiss eher zu gering, als zu gross. Einmal haben die verschiedenen Berechnungsmethoden sämmtlich etwas mehr als diese Zahl ergeben, und ferner ist der alte Gletscher sicherlich viel stärker aufgewölbt gewesen, als ich in den Querschnitten angenommen habe.

Doch wird ein zu wenig hier stets besser sein, als ein zu viel, und so möge uns die gefundene Zahl dazu dienen, mit Benützung der genau bekannten Flächendimensionen unseres Gletschers einige Betrachtungen darüber anzustellen, in welchem Verhältniss die sich vor unseren Augen abspielende Schwankung seiner Dimensionen überhaupt zu dem Process steht, der sich in ihm vollzieht, — nämlich dem Process der Schneeanhäufung im Firnfeld, des Abfliessens des Eises in tiefere Regionen und der Vernichtung desselben durch die grössere Wärme, welche hier herrscht. Ist der Mehrverlust von 60 Millionen Cubikmeter gross oder klein im Verhältniss zu den Massen, welche da überhaupt umgesetzt werden? Ist die ganze Schwankung leicht und einfach aus den bekannten und immer wiederkehrenden Unterschieden in der Schnee- und Wärmemenge der einzelnen Jahre zu erklären, oder reichen diese hiezu nicht aus?

Zuerst muss ich noch darauf hinweisen, dass der Ausdruck: der Gletscher hat in 30 Jahren 60 Millionen cbm Eis verloren, eigentlich nicht ganz richtig und zutreffend ist. Die Eismasse eines Gletschers ist ja nichts bleibendes, sondern unterliegt bekanntlich einer fortgesetzten Vernichtung einerseits, wofür Ersatz von der andern Seite nachkommt. Es ist also am Obersulzbach-Gletscher in den erwähnten 30 Jahren natürlicher Weise viel mehr Eis als 60 Millionen cbm geschmolzen worden, diese stellen nur eine Differenz dar, welche zwischen Nachschub und Abschmelzung zu Gunsten der letzteren entstanden ist — einen Mehrverlust gegen jene Zeit, als der Gletscher seine grösste Höhe hatte. Oder man kann die Sache auch so fassen: Die Gletscherzunge stellt den

Raum vor, welchen das zuströmende Eis bedarf, um so viel Wärme aufzunehmen, dass es schmelzen kann. Je mehr Eis zuströmt, desto grösser muss die Oberfläche werden, um diesen Zweck zu erreichen. Denn es ist einleuchtend, dass die Abschmelzung stets proportional zu der den Sonnenstrahlen und der Luft zugänglichen Oberfläche ist. Wenn sich aber vielleicht auch nicht alle Abschmelzung unmittelbar an freier Luft vollzieht, sondern zum Theil durch die Wasser, welche in das Innere dringen, dort bewirkt wird, so hängt doch die Menge jener erwärmten Wasser wieder von der Oberflächenerwärmung ab. Man kann also sagen: Die Abschmelzungsfläche des Gletschers ist gegenwärtig um 500 000 qm kleiner als früher; und der Raum, innerhalb dessen sich der Gletscherprocess selbst vollzieht, ist um 60 Millionen cbm kleiner als er früher war.

Diese Verkleinerung des Gletscherraumes vertheilt sich nun auf etwa 30 Jahre. Im Durchschnitt werden also jährlich um 2 Millionen cbm mehr Eis geschmolzen als zugeführt. Wie gross ist nun die jährliche Zufuhrsumme? Bekanntlich ist diese Frage sehr schwer zu beantworten. Wir haben keine genügend langen meteorologischen Beobachtungen, besonders in den Ostalpen, aus solcher Höhe; wir wissen auch nicht, wie weit die Zunahme des Niederschlags von unten gegen oben hin dauert und ob sie nicht in gewisser Höhe wieder einer Abnahme Platz macht. Aber selbst wenn wir solche Daten besässen, so hätten wir noch lange nicht Alles, was wir brauchen. Denn für uns handelt es sich ja nicht um die Niederschlagssummen allein, sondern erstens um die Frage, ob fester, ob flüssiger Niederschlag, da diese beiden Formen für uns gerade die entgegengesetzte Wirkung haben, und zweitens genügt auch nicht einmal die absolute Summe des festen Niederschlags, sondern wir müssten den Rest dieser Summe kennen, der am Ende eines Jahres nach Abzug der Verdunstungs- oder Schmelzungsquote übrig bleibt, wogegen wieder der Effect der Bereifung, welcher in grossen Höhen gewiss nicht unbedeutend ist, dazu zu rechnen wäre. Wenn auch in sehr grossen Höhen, vielleicht über 4000 m, kaum jemals Regen fallen sollte, so liegen doch die Hauptgebiete unserer Firnfelder unter 3000 m, wo die Niederschlagsformen im Sommer wechseln und daher die Kenntniss der Quantität allein keinen genügenden Aufschluss gibt. Auch

Rückschlüsse und Berechnungen sind äusserst trüglich. Ob nämlich eine bestimmte Niederschlagquantität in den Sommermonaten auf einem Firnfeld als Regen oder als Schnee niederfällt, hängt von sehr geringfügigen Schwankungen der Temperatur ab, welche sich aus den Beobachtungen fernerer Stationen keineswegs abnehmen lassen. Und doch kann diese Frage für den am Ende des Sommers bleibenden Firnrest sehr bestimmend werden.

Wenn ich also trotzdem die in so vielen Büchern sich vorfindende Zahl von 1 m (in Wasser ausgedrückt) als vermuthlichen Rest der festen Niederschläge auf dem Firnfeld annehme, so bin ich mir der problematischen Natur dieser Annahme vollkommen bewusst. Jener Theil des Firnfelds des Obersulzbach-Gletschers, der oberhalb der Isohypse 2700 m liegt, hat einen Flächenraum von 10 316 875 qm. Es würde also ein jährlicher Zuwachs von etwa 10 Millionen cbm anzunehmen sein, welcher auf der Gletscherzunge geschmolzen werden muss. Da nun seit 30 Jahren jährlich um 2 Millionen mehr geschmolzen als nachgeschoben werden, so beträgt die quantitative Veränderung des Processes ein volles Fünftel der einstigen umgesetzten Masse.

Hieraus allein ergibt sich, dass die Schwankung selbst als eine sehr bedeutende Veränderung in dem Leben des Gletschers bezeichnet werden muss.

Wir können, gestützt auf obige Zahlen, die Sache auch noch in anderer Weise ausdrücken. Um den Verlust an Eis, den der Gletscher erlitten hat, in einem Jahre zu ersetzen, müsste ein Schneerest übrig bleiben, der anstatt des angenommenen einen Meter fast 6 m dick wäre — was eine so bedeutende Ueberschreitung der durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmenge erfordern würde, wie sie niemals vorkommt. Daraus ergibt sich der Folgesatz, dass die jetzige Gletscherverminderung ein Process ist, welcher über den möglichen Erfolg jährlicher Schwankungen sei es des Niederschlags, sei es der Wärme weit hinausliegt und nur als Ergebniss mehrjähriger im gleichen Sinne wirksamer Veränderungen dieser Factoren erklärt werden kann. Es kann daher auch einer Umkehr vom jetzigen Rückgang zu einer neuen Wachstumsperiode nicht als dem Ergebniss etwa eines schneereichen Winters, sondern nur als dem Resultat einer ganzen Reihe von solchen entgegensehen werden.

Die Ursachen der Gletscherschwankung.*) Dass die Länge der Gletscherzungen dem Verhältniss der beiden meteorologischen Factoren Niederschlag einerseits und Wärme andererseits entsprechen muss und von ihm bestimmt wird, ist ohne weiteres einleuchtend. Eben so, dass dieses Verhältniss keineswegs ein constantes ist und dass also Schwankungen der Gletscherlänge nach dem Wechsel schneereicher und schneearmer, kälterer und wärmerer Jahre von der Theorie geradezu gefordert werden.

Nun zeigen aber die Thatsachen, dass die Schwankungen der Gletscher keineswegs in jährlichen, überhaupt in kürzeren Perioden sich vollziehen, sondern in längeren nach Decennien zählenden Zeiträumen, und zwar werden diese lang andauernden rückgängigen oder vorschreitenden Bewegungen durch keinerlei Stockungen, Stillstände oder Umkehrungen der Tendenz unterbrochen, während doch in derselben Zeit wärmere und kältere, hie und da auch regenreiche und trockene Jahre mannigfaltig abwechseln.

Worin liegt nun die Kraft, welche diesen jährlichen Schwankungen entgegenwirkt, sie aufhebt und nur ihr Durchschnittsergebniss in längeren Perioden zum Ausdruck kommen lässt? Denn so stellt sich offenbar die Frage. Wir wissen ja, dass nicht blos der Obersulzbach-Gletscher, sondern alle Gletscher der Alpen und auch anderer Gebirge seit den fünfziger Jahren unseres Jahrhunderts im Rückgang sich befinden. Wir kennen auch frühere gleichzeitige Vorschritts- und Rückzugsperioden.

Dass die Gletscherlänge nur von dem Zusammenwirken der meteorologischen Factoren abhängen kann, ist, wie gesagt, unumstösslich. Da aber zwischen dem Moment des Schneefalles auf dem

*) Wenn ich es hier wage, das schwierige und räthselvolle Gebiet der Ursachen der Gletscher-Oscillation zu betreten, so kann ich diese Kühnheit nicht mit dem Hinweis auf bedeutende Resultate, die ich etwa gefunden, rechtfertigen, sondern nur durch den Drang, mir über die Ursachen und den Zusammenhang einer Erscheinung eine Ansicht zu bilden, deren Beobachtung und Bemessung der Gegenstand meiner Mühe war. Ich wurde da zunächst auf die schönen Arbeiten Forels geführt. Wenn ich ihm zunächst den Boden, auf dem ich stehe, verdanke, so bin ich doch in mehreren Punkten über ihn hinausgegangen. Nicht ohne Zagen lege ich dieses Capitel dem Urtheil der Sachverständigen vor — als einen Erklärungsversuch zu so vielen anderen, der zunächst nur dem logischen Bedürfniss entsprungen war, für meine praktischen Untersuchungen eine theoretische Grundlage zu besitzen.

Firnfeld und dem Augenblick, wo das geschmolzene Eiskorn als Wassertropfen im Gletscherbach abrinnt, der höchst complicirte und noch keineswegs in allen seinen Einzelheiten verstandene Vorgang des Abflusses der dickflüssigen Eismasse aus dem Firnfeld in tiefere, wärmere Regionen liegt, so wird man genöthigt sein, jene eigenthümliche Art, wie hier die Natur aus vielerlei verschiedenen Einwirkungen ihr Mittel zieht, aus der Art dieser Bewegung des Eisstromes und ihren eigenthümlichen Gesetzen zu erklären.

Mein sehr geehrter Freund, Herr Professor Dr. F. A. Forel in Morges hat denn auch vor kurzem einen sehr lehrreichen Aufsatz veröffentlicht,*) worin er die Beobachtung mittheilt, dass von allen meteorologischen Factoren nur die Niederschlagsmengen manchmal eine durch mehrere Jahre hindurch gehende Abweichung vom Mittel, also eine längere Periodicität aufweisen. So seien in den Jahren 1842 bis 1857 die Regenmengen fortwährend über dem Mittel, in den Jahren 1862 bis 1877 unter dem Mittel gewesen. Dadurch entstünden natürlich Schwankungen in den Schneemengen der Firnfelder von längerer Periodicität. Und diese seien es, welche dann auch die grossen Schwankungen der Gletscherenden hervorriefen. Zwar sind die letzteren noch viel bedeutender und auffallender, als die ersteren; das erkläre sich aber auf folgende Weise: »Wenn der Gletscher bei seinem Ursprung etwas weniger dick ist, als gewöhnlich, bewegt er sich etwas weniger schnell. Bei dieser langsameren Bewegung wird ein Abschnitt des Gletschers mehr Jahre brauchen, um einen bestimmten Weg zurückzulegen; er wird auf diesem selben Weg länger der Abschmelzung ausgesetzt sein; während des ersten Kilometers seines Laufes wird er mehr an Dicke verlieren, als wenn er weniger Jahre gebraucht hätte, seinen Weg zu vollenden. Am Ende dieses ersten Kilometers seiner Reise wird also unser Gletscherabschnitt nicht blos um jenen geringen Betrag weniger dick sein als früher, um welchen er zuerst als dünner angenommen wurde, sondern er wird um ganz bedeutend mehr vermindert sein, da er auch durch die längere Wirkung der Abschmelzung eben mehr verloren hat. Die geringe Abnahme der Dicke oben wird also nach Zurücklegung

*) Essai sur les variations périodiques des glaciers. Archives des sciences physiques et naturelles. Tome VI. p. 5 et 448. Genève 1881.

eines gewissen Weges bedeutend gesteigert sein, und am Ende des ersten Kilometers wird der Gletscher nicht bloß etwas weniger dick, sondern viel weniger dick sein als früher. Aber diese Verminderung der Dicke wird eine weitere Verminderung der Geschwindigkeit nach sich ziehen, und dieser Process von Wirkung und Gegenwirkung im selben Sinne von der Geschwindigkeit auf die Dicke und wieder umgekehrt fortgesetzt von Kilometer zu Kilometer, bis zum Ende des Gletschers, wird schliesslich dahin führen, dass das ursprüngliche sehr kleine Deficit sich in eine ungemein grosse Verminderung sowohl der Schnelligkeit, als der Dicke ausgewachsen hat.

Aehnlich, nur im umgekehrten Sinne, wird es sein, wenn der Gletscher an seinem Beginne dicker wird; er wird sich dann schneller bewegen, er wird kürzere Zeit der Abschmelzung unterworfen sein, er wird verhältnissmässig weniger an Dicke verlieren; die geringere Verminderung an Dicke wird eine geringere Verlangsamung der Bewegung (in den unteren Gegenden) bewirken, und diese geringere Verlangsamung wird rückwirkend wieder eine langsamere Abnahme der Dicke nach sich ziehen; und schliesslich wird sich herausstellen, dass eine sehr unbedeutende Verstärkung der Dicke des Gletschers in seinen oberen Theilen eine beträchtliche Verlängerung an seinem unteren Ende, eine Erhaltung sowohl seiner Dicke als seiner Schnelligkeit nach sich gezogen hat.«

Was nun die Ansicht Forels betrifft, dass die Schwankungen der Niederschlagsmengen es sind, welche durch ihre über mehrere Jahre im gleichen Sinne ausgedehnten Ueberschreitungen des Mittels nach oben oder unten eine Verlangsamung oder Beschleunigung der Gletscherbewegung erzeugen, und dass diese letzteren die Schwankungen der Gletscherlänge hervorrufen, so bin ich hiemit vollkommen einverstanden, und meine eigenen Beobachtungen und Studien haben mich durchweg zu demselben Resultat geführt. Was hingegen die oben angeführte Erklärung hiefür betrifft, welche besonders im letzten Satze der oben übersetzten Stelle zum Ausdruck kommt, so muss ich mir die Bemerkung gestatten, dass dieselbe leicht einer Missdeutung unterliegen und zu einer falschen Auffassung führen kann. Wenn es nämlich heisst, dass eine sehr unbedeutende Verstärkung der Dicke des Gletschers in seinen oberen Theilen eine beträchtliche Verlängerung an seinem unteren Ende nach sich

ziehen könne, so könnte das so verstanden werden, als ob durch eine nur unbedeutende Vermehrung der Niederschlagsmenge im Firnbecken, welche eine kleine Verdickung des Gletschers bewirken würde, eine Verlängerung der Gletscherzunge in einem weit höheren Verhältniss hervorgerufen werden könnte, als das war, in welchem der Niederschlag gewachsen ist. Das ist aber unmöglich. Die Gletscherlänge kann nie in einem anderen Verhältniss zu- oder abnehmen, als die Niederschlagsmengen; die von oben abfliessende und die unten ankommende Masse müssen einander stets proportional bleiben. Dies geht aus folgender Betrachtung hervor. Wenn der erste Querschnitt der aus dem Firnmeere austretenden Gletscherzunge im Verhältniss von $1:a$ wächst (wobei man sich unter a eine Grösse vorzustellen hat, die etwas grösser ist als 1, z. B. $1 + \frac{1}{20}$), so wächst der Druck nach abwärts, folglich die Geschwindigkeit der Gletscherbewegung. Nimmt man an, dass die Geschwindigkeit proportional dem Querschnitt wachse (was wohl nicht genau wäre), so erhöht sie sich also ebenfalls im Verhältniss von $1:a$. Da aber die durch den Querschnitt in einer bestimmten Zeit austretende Eismasse gleich ist dem Querschnitt multiplicirt mit der Geschwindigkeit (das heisst dem von der Eismasse in demselben Zeitraum zurückgelegten Weg), so muss also die austretende Masse gleich sein $a \times a = a^2$; und sie ist also nicht im Verhältniss $1:a$, sondern im Verhältniss $1:a^2$ gewachsen. Wenn die Ablation gleichbleibt, so wird dadurch die Gletscherzunge ebenfalls im Verhältniss von $1:a^2$ verlängert. Setzt man nun voraus, was im allgemeinen gewiss richtig ist, dass durch den Ausflussquerschnitt stets so viel abfliesst, als dem Reservoir, d. i. dem Firnbecken, zugeführt wird, so wird auch die Zufuhr des Firnbeckens, d. i. die Niederschlagsmenge im Verhältniss $1:a^2$ wachsen müssen, wenn die Gletscherlänge sich in demselben Verhältniss vergrössern soll. Die Gletscherlänge wächst also proportional der Niederschlagsmenge, der Anfangsquerschnitt aber nur proportional der Quadratwurzel aus der Niederschlagsmenge.

Allerdings ist also die Vergrösserung der Gletscherlänge stets bedeutender als die Vergrösserung des ersten Querschnittes, wenn zugleich die Geschwindigkeit zugenommen hat — aber niemals kann der Gletscher in stärkerem Verhältniss wachsen, als der Nachschub gewachsen ist.

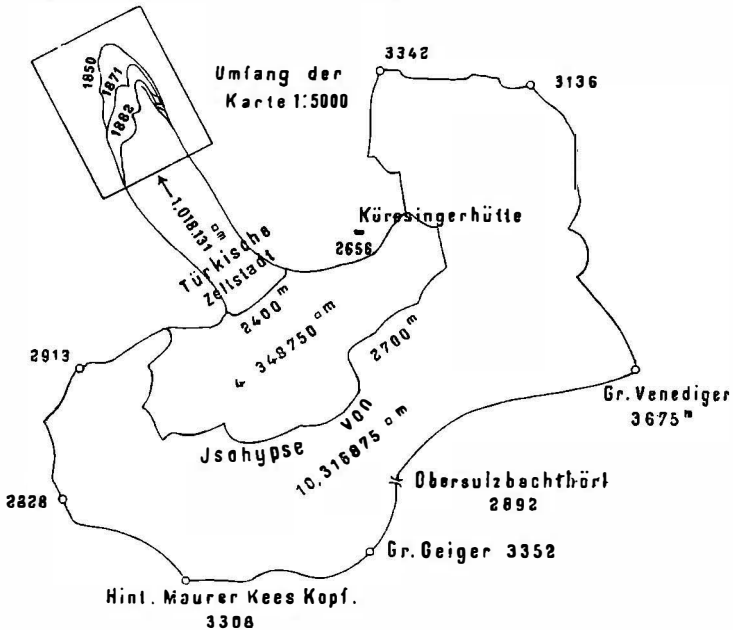
So ist also, wie wir voraussetzen, auch Forels Ansicht zu verstehen. Er wollte zeigen, dass die durch einen verstärkten Niederschlag hervorgerufene, diesem Niederschlag proportionale Verlängerung des Gletschers sich in der Weise abspielt, dass die Steigerung der Abflussgeschwindigkeit es ist, welche die Verlängerung unmittelbar erzeugt. Damit sind wir aber noch nicht der Nothwendigkeit überhoben, eine Erklärung dafür zu suchen, warum wie oben ausgeführt die Schwankungen der Länge bei den Gletschern in so grossen Perioden sich vollziehen, während die Schwankungen der meteorologischen Factoren in viel kürzeren Zeiträumen sich wiederholen.

Wenn ich nun hiezu einen Erklärungsversuch wagen soll, so würde sich derselbe vielleicht kurz folgendermaassen ausdrücken lassen. Ich vermuthe, dass deshalb nur die grossen aus mehreren Jahren stammenden Anhäufungen oder Verminderungen der Schneemassen auf die Gletscherlänge als wirksam sich erweisen, weil nur sehr grosse Ueberschreitungen des mittleren Standes im Firnfeld die Kraft haben, einen solchen Druck nach abwärts auszuüben, wie er bei der strengflüssigen Constitution des Gletschereises nothwendig ist, um der ganzen Eiszunge eine beschleunigte Bewegung mitzutheilen, während kleinere Schwankungen nur in unbedeutenden Hebungen und Senkungen der oberen Gletscherpartien zum Ausdruck kommen werden.

Die Firnfelder der meisten grossen sog. primären Gletscher lassen sich in zweierlei Räume scheiden, in die hochgelegenen Mulden und Berglehnen, welche die Ueberfülle des Schnees erhalten, dann in eine Art Sammelbecken, in welchem die Firnmassen zusammenströmen, um dann von hier aus erst als Gletscherzunge abzufliessen. Bei unserem Gletscher ist dieses Verhältniss besonders schön und deutlich entwickelt. (Siehe die Kartenskizze S. 62). Der Raum oberhalb der Isohypse 2700 m dürfte als der eigentlich receptive Theil des Firnfelds aufgefasst werden, was dann zwischen 2700 und 2400 m liegt, ist ein länglicher Kessel, der nur an einer Seite eine Oeffnung von 429 m Breite hat, bei der die Gletscherzunge entströmt. Ganz ähnliche Sammelbecken besitzen der Suldengletscher, der Grosse Aletschgletscher und das Eismeer von Chamonix. Soviel Firn nun von den oberen Mulden dem Sammelbecken zugeführt wird, soviel muss demselben wieder entströmen, wobei ich vorläufig

davon absehe, dass vielleicht bei einer niedrigen Lage dieses Beckens in diesem selbst schon Schmelzung stattfindet, auch den Zeitunterschied einstweilen übergehe, der zur Durchmessung des Sammelbeckens benöthigt wird. Jedenfalls hat man es bei der jährlichen Ausflussmenge des Beckens mit je einem Jahresertragniss der Firnfelder zu thun, wenn dieses auch nicht gerade das Ertragniss des letzten Jahres ist.

Denken wir uns nun, die Witterungscharaktere eines Jahres,



Der Obersulzbach-Gletscher 1 : 75 000.

etwa besonders starke Schneemengen im Herbst oder Frühling, ein kühler regnerischer Sommer, brächten es mit sich, dass das Sammelbecken in einer mehr als gewöhnlichen Weise gefüllt ist. Der erste Querschnitt, welcher unter solchen Umständen aus dem Sammelbecken entströmt, wird nun mit verstärkter Dicke herankommen und daher auch mit grösserer Schnelligkeit auszuströmen suchen. Denn das ist eine sichergestellte Thatsache, dass sowohl bei Wasser als bei Gletschereis die Geschwindigkeit des Abfliessens mit dem Querschnitt wächst, wenn auch keineswegs im gleichen Verhältniss. Zunächst kann aber das austretende Eis diese Tendenz grösserer

Beschleunigung in keiner anderen Weise zum Ausdruck bringen, als durch einen verstärkten Druck auf die vorliegenden Eispartien. Denn wie sollte es sich schneller bewegen, wenn es vor sich eine lange Reihe von Querschnitten findet, die alle noch langsam vorwärts schreiten? Es müsste, um seine Tendenz schnelleren Fliessens ins Werk zu setzen, Druckkraft genug haben, in ihnen allen die Bewegung zu beschleunigen. Denn das Eis ist doch eine sehr streng flüssige Masse, bei welcher die Verschiebung der Theilchen einen bedeutenden Widerstand erfährt, und dessen einzelne Partien keineswegs nur durch die eigene Schwere, sondern vornehmlich durch den Druck der oberen bewegt werden. Es ist nun eine Frage, die ich zunächst nicht zu beantworten vermag: wie weit nach vorwärts kann sich der verstärkte Druck geltend machen? Die Thatsachen beweisen nur, dass keineswegs etwa ein einziger noch so starker Schneefall eine Vortreibung des Eisendes, oder eine Erhöhung des Standes der Eiszunge mit sich bringt — wie bei vollkommenen Flüssigkeiten eine Erhöhung des Standes im Sammelbecken (also zum Beispiel in einem See) sofort ein Steigen der Wasserhöhe auch im Abfluss mit sich bringen würde.

Die Verstärkung des Querschnittes des Abflusses wird also bezüglich der Vermehrung der Geschwindigkeit ohne durchgreifenden Erfolg bleiben, wenn die Druckverstärkung nicht so gross ist, um den ganzen vorliegenden Eiskörper in Bewegung zu setzen. Es wird also einfach ein verstärkter Querschnitt aber mit nur sehr wenig verstärkter Geschwindigkeit aus dem Sammelbecken abfliessen. Es wird in der Gletscherzunge eine geringe Schwellung hervorgerufen, welche langsam gegen das Ende vorwärtsschreitet.

Denken wir uns, der inzwischen angesammelte nächste Jahresertrag der Firnfelder wäre nun wieder normal, oder vielleicht gar unter dem Mittel, so wird der Querschnitt des Abflusses sich verkleinern, der Druck nach vorne wieder geringer werden. Dies wird nun wesentlich beitragen, auch die Wirkung der Anschwellung des vorigen Jahres zu vermindern und endlich aufzuheben; der geringere von hinten wirkende Druck wird die rückwärtigen Theile der angeschwellenen Partie veranlassen, etwas zurückzubleiben; es wird sich allmählig die isolirte Schwellung wenigstens so weit ausgleichen, dass sie keinen entscheidenden Einfluss auf das Gletscherende mehr ausüben kann. Wenn z. B., wie das jetzt der Fall ist,

die Gletscherenden sich verkürzen, so wird diese Verkürzung vielleicht in einem Jahre, wo eine solche Schwellung eben zum Ende kommt, geringer sein, als in einem anderen, aber sie wird den Rückgang nicht in eine Verlängerung umsetzen können. Man muss berücksichtigen, dass ein Jahresertrag, als Abschnitt der Eiszunge gedacht, gewöhnlich doch nur einen Körper von höchstens 200 m Länge vorstellt — denn grössere Geschwindigkeiten auf ein Jahr kommen nur ausnahmsweise zur Zeit grosser Vorschnittsperioden vor. Denken wir uns, dass vor und hinter diesem höheren Stücke wieder niedrigere sich befinden, dass ferner die Erhöhung der Masse eine stärkere Zerklüftung hervorrufen und dadurch die Wirkung der Abschmelzung vermehren wird, ja, dass auch eine zufällige stärkere Ablation in einem Jahre leicht dem Betrag einer solchen einjährigen Anschwellung gleich kommen kann, so wird es uns vollends begreiflich, dass eine isolirte Auftreibung von so geringer Dimension sich nicht bemerkbar zu erhalten vermag.

Stellen wir uns aber vor, der zweite Jahresertrag würde ebenso stark über das Mittel hinausgehen, als der erste, oder noch mehr, und ebenso ein dritter, vierter, fünfter, so ist einleuchtend, dass das Sammelbecken sich immer mehr füllen und der Stand der Masse in demselben sich immer mehr heben muss, da der andauernd verstärkten Zufuhr nur das frühere langsame Abfuhrtempo gegenübersteht. Aber eben so sicher ist, dass dadurch endlich ein Moment herbeigeführt werden kann, in welchem der Druck von oben und die Tendenz der schnelleren Bewegung so stark geworden sind, dass es endlich gelingt, den Widerstand der vorderen langsamer bewegten Massen zu überwinden und der ganzen Gletscherzunge eine beschleunigte Bewegung einzuflössen.

Bei aller Strengflüssigkeit ist doch das Gletschereis eine plastische, für Druck nachgiebige, ja sogar für geringen Druck, wenn er nur lange genug dauert, sehr nachgiebige Masse.*) Ich halte es also für theoretisch durchaus denkbar, dass auch langsam sich bewegende, bereits gegen das Gletscherende vorgerückte dünn gewordene Eistheile wieder zu rascherer Bewegung gebracht werden können, wenn der Druck, den die auf geneigtem Gletscherbette von

*) Pfaff, über Bewegung des Firns etc. Sitzungsberichte der k. bayerischen Akademie der Wissenschaften XII.

oben und rückwärts nachdrängende und nachgedrängte Masse ausübt, sich in entsprechendem Verhältniss verstärkt.

Nun kann das eintreten, was Forel in der genannten Arbeit so schön als Folge der Vergrößerung der Abflussgeschwindigkeit geschildert hat. Da der Gletscher sich schneller bewegt, wird er auf demselben Wege weniger Eis durch die Abschmelzung verlieren, als wenn er denselben Weg langsamer zurücklegt; er wird dicker am Ende des ersten Kilometers anlangen als bei der früheren Bewegung und zwar nicht blos um das verdickt, was er schon ursprünglich dicker war, sondern auch um das, was er erspart hat, da er nicht so lange der Sonne ausgesetzt war. Da ferner das Sammelbecken durch die vorausgegangene, jahrelange Anstauung von Firnüberschüssen, die an und für sich als aussergewöhnlich gross gedacht wurden, überaus stark gefüllt ist, so sind auch die nöthigen Massen vorhanden, um die einmal rascher gewordene Bewegung eine Zeit lang im gleichen Gang zu erhalten. Das ist, wie mir scheint, der entscheidende Punkt. Gesetzt nämlich, es würde schon ein einziger schneereicher Winter, »eine geringe Vergrößerung des Profils«, vermögen, eine schnellere Bewegung hervorzurufen, so müsste diese Tendenz sehr bald zur Ruhe kommen, denn, wie erwähnt, die abfliessende Masse steht im Verhältniss zum Profil und zur Geschwindigkeit. Wenn also beide sich um das a -fache vergrössern, so muss n^2 mal mehr Masse da sein, um diese Art Ablauf im Gange zu erhalten. Ist aber nur wenig Massenvermehrung da, so wird sofort nach Eintritt der schnelleren Bewegung entweder das Profil oder die Geschwindigkeit, oder beide rasch sinken und der alte Zustand wieder eintreten. Es muss also bei jeder Eisvermehrung respective Gletscherverlängerung unten, eine verhältnissmässige Nachschubmenge oben vorhanden sein. Und diese denke ich mir eben dadurch herbeigeschafft, dass die Ueberschüsse mehrerer im gleichen Sinne auf einander folgender Jahrgänge mit besonders starken Niederschlägen aufgestapelt werden. Und die Aufstapelung wird wieder dadurch bewirkt, dass erst mehrere solche aufeinander folgende Jahrgänge im Stande sind, die Gletscherbewegung in jenes raschere Tempo zu bringen, welches der Massenvermehrung entspräche.

Somit wird also das vordere Ende des Gletschers sich wieder in Bewegung setzen, da immer höhere und weniger verzehrte Quer-

schnitte auf einander folgen, die Oberfläche der Eiszunge sich aufwölben und die ganze untere Gletscherpartie ihre Gestalt wesentlich verändern. Die rasch bewegte Masse zerklüftet, die dichte Moränenschuttdecke stürzt zum Theil in die neu aufreissenden Spalten, vielleicht erreicht der sich vorwärts wälzende Eiskörper eine Thalstufe, welche nun neuen Anlass zu beschleunigter Bewegung und Zerklüftung bietet. Dieser Process wird so lange fortdauern, bis eine Ausdehnung erreicht ist, wie sie der im Firnfeld aufgestapelten Masse entspricht, wodurch zugleich die Abschmelzungsfläche um so viel vergrössert wurde, als nothwendig war, um das Gleichgewicht herzustellen.

Bevor ich nun weitergehe, um die Fortentwicklung und Umkehr des Processes zu verfolgen, muss ich noch einer anderen interessanten Entdeckung Forels gedenken, welche auf die eben geschilderten Vorgänge weiteres Licht zu werfen geeignet ist. Ich meine die »innere Schmelzung« (ablation interne) und deren Bedeutung für die Erklärung der Gletscherbewegung.

Es ist eine bekannte Thatsache, welche durch zahlreiche Beobachtungen belegt ist, dass die untersten Enden der Gletscher sich langsamer bewegen, als die oberen und mittleren Partien. Das ist an und für sich verwunderlich genug. Wohin kommen die schneller bewegten Massen, wenn sie an die vorderen langsamer bewegten stossen? Forel vermuthet, dass die im Innern des Gletschers sich vollziehende Abschmelzung, von Korn zu Korn und an den Rändern der Spalten Platz schaffe für die schneller nachrückenden Theile. Jeder von oben herabkommende Eistheil müsse erst den durch die Schmelzung zwischen ihm und seinem Vormann entstandenen leeren Raum durchschreiten, um auf den letzteren einen wirksamen Schub und Druck ausüben zu können, und dadurch würde die Bewegung nach vorne zu immer langsamer. Es sei auch weiter einleuchtend, dass der Effect dieser »ablation interne« auf die Verlangsamung der Bewegung bei einem dünnen Gletschertheil viel grösser sein muss, als bei einem dicken. Denn es kann sich dieselbe doch nur auf eine gewisse Tiefe in das Innere des Gletschers hinab geltend machen. Ist nun der Gletscher dünn, so wird die Bewegung desselben hiedurch stark beeinflusst werden können, d. h. er wird sich zusammenschieben lassen; ist er dick, so wird er sich nach Maassgabe seiner unteren, nicht von

der inneren Schmelzung berührten Schichten bewegen, d. h. er wird sich nicht zusammenschieben lassen, seine Bewegung nicht verlangsamen. Wenn also in Folge des früher geschilderten Vorgangs Gletscherpartien grösseren Querschnitts gegen das Ende herabkommen, so wird die innere Schmelzung auf dieselben keinen so entscheidenden Einfluss ausüben können, als auf die früheren mit geringerem Querschnitt. Nun sei aber die innere Schmelzung mit ihrer Aufhebung der Bewegung dasjenige, was die untersten Eistheile bei Rückschrittsperioden am meisten der Vernichtung anheim gibt. Wenn also diese Wirkung aufgehoben wird, wie es die Gletscherverdickung mit sich bringt, so sei das ein gewiss nicht zu unterschätzender Beitrag, den Gletscher zu verlängern.

Auch dieser Erklärung kann ich nur zum Theil zustimmen. Es ist allerdings sehr wahrscheinlich, dass in dünneren und der Abschmelzung sehr ausgesetzten Gletscherpartien die innere Abschmelzung so bedeutend ist, dass die Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit gegen unten zu dadurch zum Theil erklärt werden kann. Es gibt aber noch eine andere denkbare Veranlassung. Das Gletschereis dürfte nämlich der Zusammendrückbarkeit doch nicht ganz entbehren. Dass zwischen der Dichte des Firns und der Dichte des Eises am Gletscherende ein sehr bedeutender Unterschied vorhanden ist, erscheint unzweifelhaft. Wahrscheinlich beträgt die Volumverminderung des Eises durch die nach und nach erfolgende Auspressung aller Luftblasen und anderer Hohlräume so viel, dass auch dieser Umstand bei der Verlangsamung der Bewegung nach unten zu als nicht ganz unwirksam zu betrachten wäre. Doch will ich mich hierauf nicht weiter einlassen, da ich Beobachtungen nach dieser Richtung nicht angestellt habe.

Wie lange wird die verstärkte Geschwindigkeit und die Periode des Vorschreitens andauern? Offenbar so lange, als im Sammelbecken Firnmassen in solcher Quantität angehäuft sind, wie sie der früher eingetretenen Beschleunigung entspricht. Dauern die aussergewöhnlich grossen Niederschlagsmengen noch einige Jahre fort, so kann der Moment, wo jene Massen sich erschöpfen und zu Ende gehen, noch hinausgeschoben werden. Sobald aber die Niederschläge auf ihr früheres normales Maass zurückweichen oder gar auf kürzere oder längere Zeit unter dasselbe herabsinken, wird sofort der Umschlag des Processes eingeleitet werden. Denn wir

haben ja angenommen, dass der Vorstoss des Gletschers einer Aufstapelung entsprochen habe, und um eine solche Länge dauernd aufrecht zu erhalten, müsste fortwährend der Nachschub so gross bleiben, als er im Moment des Eintritts der schnelleren Bewegung war.

Das Ende des Gletschers wird also so weit vorwärts geschoben werden, als der grössten Druckwirkung, die überhaupt vorgekommen ist, entsprechend war. Da dieselbe ohnehin nur sozusagen durch dieses Maximum der Kraftwirkung eben noch bewegt werden konnte, da es auf flachem Boden sich so weit kuchenartig ausgebreitet hatte, als die innewohnende Plasticität forderte, so kommt es im Augenblick, wo dieses Maximum abläuft, völlig in Stillstand. Dieser Moment muss, wie ja natürlich, über kurz oder lang eintreten. Und zwar wird das dann geschehen, wenn der Gletscher sich soweit verlängert hat, dass die Ablation (welche mit jedem neuen Vorwärtsrücken neue Angriffspunkte erhielt und ausserdem nach unten sich fortwährend verstärkt), dem Nachschub die Wage hält, und daher kein Kraftüberschuss mehr vorhanden ist, das Ende vorwärts zu treiben.

Was wird nun die Folge dieses Stillstandes des vorderen Endes sein? Es wird sich den ganzen Gletscher hinauf eine Verlangsamung der Bewegung geltend machen, mit allen ihren Folgen, das heisst, der Process der Eisvernichtung wird sich in Folge der Verminderung der Nachschubmenge in einem räumlich kleineren Kreislauf vollziehen und das Ende des Gletschers, das gewissermaassen ein Ueberbleibsel aus der Zeit energischerer Bewegung war, wird aus diesem Kreislauf ganz ausgeschaltet werden. Es ist aber einleuchtend, dass jeder Theil eines Gletschers, der keine Bewegung mehr hat, binnen Kurzem einer vollkommenen Vernichtung anheimfallen muss. Und zwar wird der Gletscher nun in dieser Endpartie zuerst sehr an Dicke verlieren. Ein eigentlicher Rückgang wird sich Anfangs nur an solchen Stellen bemerkbar machen, wo das Eis in recht flache Kuchen auseinander geflossen oder durch viele tiefe Spalten in einzelne Trümmer zerrissen war; wenn aber einmal durch die rasche Abschmelzung die Dicke bedeutend reducirt ist, dann kann der ganze Rest des bewegungslosen Stücks in wenigen Sommern total verschwunden sein. Dann erst beginnt

die Aufmerksamkeit des Publicums rege zu werden und man spricht von plötzlichem rapiden Rückgang.

Die Erfahrung lehrt, dass bei der gegenwärtigen allgemeinen Rückzugsperiode der Gletscher ausgedehnte Endpartien der Gletscher, von einem Kilometer Länge und darüber, sich immer mehr erniedrigen, und dann, wenn sie flache Eiskuchen geworden sind, in Stücken von 30—50 m im Jahr abschmelzen. Das kommt, wie gesagt, daher, dass sie bewegungslos geworden sind, d. h. keinen Nachschub erhalten. Wie müsste sich die Sache gestalten, wenn der Gletscher stabil auf einer gewissen Länge verharren sollte? Die Abschmelzung beträgt nach übereinstimmenden Beobachtungen in einer Höhe von 1600—1800 m, wo in den Alpen gewöhnlich die unteren Gletscherenden sich befinden, 5—6 m im Jahr. Die Abschmelzung wirkt im allgemeinen senkrecht auf die Oberfläche. Damit ein Gletscherende stabil bliebe, müsste also so viel nachgeschoben werden, als nöthig ist, diese Abschmelzung bis zum letzten Punkt hin auszugleichen. Es leuchtet nun ein, dass bei einem Gletscherende von bedeutender Dicke, wie es sich bei einem eben erst zum Stillstand gelangten Gletscher findet, der Jahresabtrag auch am Ende nicht viel mehr als jene 5—6 m betragen kann. Hingegen wird bei einem einmal dünn gewordenen Gletscher in einem Jahre jenes ganze Stück abschmelzen, welches bereits unter 6 m Dicke herabgesunken ist. Daher der langsame Rückgang Anfangs, der rapide später, wie das bisher immer beobachtet wurde.

Wie weit wird nun der Gletscher zurückweichen? Offenbar wird die Differenz zwischen der Maximal- und Normallänge im allgemeinen entsprechend sein müssen der Differenz zwischen der Masse, welche die Periode des Vorschreitens einzuleiten die Kraft hatte und der Firnquantität der normalen Jahre. Es müsste also auch dann eine Rückzugsperiode eintreten, wenn nach mehreren besonders schneereichen Jahren auch nur wieder mehrere normale folgten. Um so mehr wird dies der Fall sein, wenn anstatt normaler solche mit Ausfall an Niederschlag sich einstellen.

Es gibt nun verschiedene Einwirkungen, welche danach angehan sind, die einmal im Gang befindliche Rückgangs- oder Vergrößerungstendenz noch weiter zu steigern. Von der inneren Schmelzung war schon die Rede. Etwas anderes ist die Verschiebung der Firnlinie.

Der Unterschied zwischen der Schneebedeckung der mittleren Gletscherpartien in verschiedenen Jahren ist nämlich ausserordentlich gross. Die obersten Firnböden und die eigentliche Gletscherzunge behalten stets ihren Charakter — die ersteren enthalten nur feinen Firnschnee, die letztere wird wohl jeden Sommer für längere Zeit ganz schneefrei. Dazwischen aber liegt bei jedem Gletscher ein ziemlich ausgedehntes zweifelhaftes Gebiet, welches je nach dem Gang der Witterung in einem Jahre sich als Theil des Firnfeldes, als schneebedeckte Fläche, ein andermal mit blankem abschmelzendem Eise präsentirt, so dass es einmal dem ernährenden, ein andermal dem verzehrenden Theil des Gletschers anzugehören scheint. Die sogenannte Firnlinie ist also ein sehr schwankender Begriff. Bekanntlich besitzt auch in ziemlich hohen Lagen in einiger Tiefe der Firn bereits einen eisigen Character. Bei länger dauerndem schönen Wetter, im Sommer und besonders im Herbst, »apert das Eis aus« an allen der Sonne exponirten Hängen, selbst in Höhen über 3500 m. Sehr viele Bergsteiger kennen die Firnabhänge des Klein-Glockners als glänzende Eisflächen, in welche zahlreiche Stufen gehauen werden müssen. Ich besitze eine grosse Photographie des Umbalfirns mit der Dreiherrnspitze von Jägermaier, 1864 aufgenommen, wo sich bis zur Isohypse von 3000 m grosse und zahlreiche Eisflächen vorfinden, während bei meinem Besuche dieser Gegend — auch schon im Herbst — alle diese Stellen als unverletzter weisser Firn sich darstellten. Ich vermute diese zweifelhafte Zone zwischen den Isohypsens 2400 und 2700 m, ein Gebiet, welches am Obersulzbach-Gletscher eine Ausdehnung von 4 · 3 Millionen qm besitzt. Es ist einleuchtend, dass also Jahre, welche den Firnfeldern aussergewöhnlich grossen Zuwachs bringen, diese Uebergangszone zu sich herüberziehen, sowie auch die Gletscherzunge selbst nur kürzere Zeit der schützenden Schneedecke berauben werden. Dadurch muss aber die Gesamtwirkung wesentlich gesteigert werden.

Wenn ich aus der bisher durchgeführten Erklärung der Erscheinung einige Folgerungen ziehen soll, so würden dies also folgende sein:

1. Die Ursachen der grossen Gletscherschwankungen sind aussergewöhnliche Ansammlungen von Firn, welche von einer Reihe besonders schneereicher Winter herrühren. Solche Ansammlungen

bewirken dann einen verhältnissmässig rasch verlaufenden bedeutenden Vorstoss des Gletschers, auf welchen eine lange Rückzugsperiode folgt.

2. Wenn der Gletscher sehr kurz geworden ist, ist eine wiederkehrende starke Firnansammlung leichter im Stande, einen neuerlichen Vorstoss hervorzurufen, als wenn der Gletscher noch besser erhalten ist.

3. Ein durch längere Zeit vollständig unveränderter Stand eines Gletschers ist bei der fortwährenden Veränderung der meteorologischen Factoren an und für sich nicht zu erwarten. Da aber die Veränderungen der Länge überhaupt nur von dem Wechsel in der Schnelligkeit der Bewegung herrühren, welcher durch die manchmal vorkommenden Aufsammlungen grosser Firnmassen und deren sozusagen plötzlichen kaskadenartigen Ablauf bewirkt wird, so befinden sich die Gletscher abwechselnd immer eine kurze Zeit im Vorstoss, bedeutend länger dann auf dem Rückzug.

Letzteres muss ich noch etwas weiter ausführen. An die Frage nach der relativen Zeitdauer der Vorstösse und Rückgänge ist nämlich eine andere Frage untrennbar geknüpft, die zu den interessantesten auf diesem Gebiet gehört. Nämlich die: wie weit zurückliegend der Zeit nach ist bei einer Veränderung der Gletscherlänge die jeweilige meteorologische Veranlassung zu denken?

Verzögerung der Periode. Wenn man früher hier den Fehler machte, die Schwankungen mit der Witterung des jeweils unmittelbar vorausgegangenen Jahres oder Winters in Verbindung zu bringen, so ist man in neuerer Zeit, wenn ich nicht irre, hie und da nach der entgegengesetzten Seite zu weit gegangen, indem man Zeiträume von Jahrhunderten oder doch vielen Jahrzehnten als Zwischenzeit von Veranlassung und Wirkung annahm. Zu solchem Resultat konnte man nur dadurch kommen, dass man die Bewegungsgeschwindigkeiten, wie man sie bei den jetzigen rückgehenden Gletschern beobachtete, in Vergleich setzte mit der Gesamtlänge des Eisstromes und nun allerdings fand, dass ein Firntheil zur Zurücklegung einer so langen Strecke in so langsamem Tempo vielleicht Jahrhunderte benöthigen möchte. Gegen diese Anschauung wendet sich schon Forel in dem mehr genannten Aufsatz, indem er darauf hinweist, dass erstlich, so weit unsere allerdings geringen Er-

fahrungen reichen, vorschreitende Gletscher eine weit schnellere Bewegung haben (und haben müssen), als rückgehende, und zweitens trotz der ungemeinen Verschiedenheit der Gletscher an Länge und sonstigen Eigenthümlichkeiten doch dieselben stets ziemlich gleichzeitig oder höchstens innerhalb ein bis zwei Decennien derselben Schwankung sich unterworfen zeigen, so dass also die Differenz in dem Ausdruck der Wirkung nicht mehr als 10—15 Jahre beträgt.

Ich kann ihm hier nur vollkommen beipflichten, ja möchte vielleicht noch etwas weiter gehen und sagen: solche Gletscher, die während Perioden energischen Vorgehens beobachtet wurden, haben stets so grosse Bewegungsziffern ergeben, dass auf diese Art auch ein sehr langes Gletscherbett innerhalb zwanzig Jahren durchmessen werden konnte. Wenn Forbes am Mer de glace durch mehrere Jahre hindurch, zu einer Zeit als der Gletscher im Wachsen war, eine jährliche Bewegung von 250 m beobachtete, wenn am Vernagtletscher durch zwei Jahre hindurch eine tägliche Vorrückung des Gletscherendes von 2.24 m vorgekommen ist, so genügte bei der Länge der meisten Gletscherbetten, wenigstens in den Ostalpen, ein Zeitraum von 10—20 Jahren, um bei ähnlichen Bewegungsgeschwindigkeiten den Weg vom Firnfeld bis zum Gletscherende zurückzulegen. Ja selbst bei der Geschwindigkeit, welche das rothe Profil am Rhonegletscher in den letzten Jahren bei so bedeutendem Rückgang bewiesen hat (120 m), würde ein Zeitraum von 25 Jahren genügen, das Bett des Obersulzbach-Gletschers (der dem Rhonegletscher nicht sehr nachsteht), zu durchmessen. Es sei ferner gestattet, auf das Beispiel des Vernagtletschers nochmals zurückzukommen, da dieser durch den starken Betrag seiner Schwankungen ausgezeichnet ist und desshalb genauer beobachtet wurde als andere. Seine Verwendbarkeit als Beispiel wird desshalb nicht in Zweifel gezogen werden können, denn wenn man nicht an Wunder glauben will, wird man zur Erklärung seiner Schwankungen auch keine anderen Ursachen herbeiziehen dürfen, als bei anderen seines gleichen.

Es ist bekannt, dass beim Vernagtletscher Perioden sehr raschen Vorgehens, welche nur wenige Jahre dauern, mit Zeiten abwechseln, in welchen der Gletscher fortwährend kleiner wird. Letztere Periode dauert aber stets mehrere Decennien. In den Jahren 1599—1601, 1678—1680, 1770—1772, 1820—1822,

1840—1845 erfolgte ein rapides Anwachsen des Gletschers, bei welchem von der Gletscherzunge in zwei bis drei Jahren ein Weg von 1300 m zurückgelegt wurde und schliesslich die tägliche Bewegung einen Betrag von fast 10 m erreichte.*) Die langen Zwischenperioden gehören einem Zustand des Rückgangs an. Die ganze so rasch vorgeschobene Gletscherzunge kommt in einen Zustand vollkommener Ruhe und fällt dadurch einer raschen Vernichtung anheim. An einer geeigneten Stelle trennt sich der unterste Theil von dem Uebrigen völlig los und kann sich nur, durch Schutt geschützt, noch einige Decennien fristen. Aber auch die oberen Partien verkürzen sich so sehr, dass sogar die beiden Arme, aus denen der Gletscher zusammenfliesst, die gegenseitige Berührung verlieren.

Es scheinen locale Umstände, Verhältnisse des Gletscherbettes und Aehnliches, auf was ich hier nicht eingehen kann, zu sein, welche die Schwankungen des Vernagt so bedeutend hervortreten lassen; vor allem sind es aber die Ueberschwemmungen, die er beim Vorschreiten durch die Aufstauung der Rofner Ache hervorruft, welche die Menschen auf ihn aufmerksam gemacht und uns so Daten über seine Bewegungen erhalten haben. Es ist nun ein eigenthümliches Zusammentreffen, dass wir gerade von jenen Gletschern, die in ungewöhnlicher Nähe der menschlichen Wohnungen sich befinden, oder durch ihre Schwankungen Schaden anzurichten pflegen, wie Vernagt-, Gurgler-, Sulden-, Grindelwald-Gletscher, die Nachrichten von so ausserordentlichen Schwankungen besitzen. Sollte da nicht die Vermuthung berechtigt sein, dass andere Gletscher ebenso »ausserordentliche Schwankungen« der Länge durchzumachen pflegen, nur mit dem Unterschied, dass davon keine Ueberlieferung auf uns gekommen ist? Wer von den Thalbewohnern würde heute davon Notiz nehmen, wenn der Obersulzbach-Gletscher innerhalb seines alten Bettes wieder um einige hundert Meter vorrückte, sobald er nur keine Weideflächen schädigt?

Was wir gegenwärtig an Rückgang der alpinen Gletscher beobachten können, geht dem Maasse nach über die Vorkommnisse am Vernagtletscher in keiner Weise hinaus. Die letzte Verückung desselben betrug 1300 m in der Länge und die Eismasse

*) Stötter, die Gletscher des Vernagthales. Innsbruck 1846.

wurde auf 70 Millionen cbm geschätzt. Das ist der Länge nach so viel, als gegenwärtig das Eismeer von Chamonix zurückgegangen ist; die Massenveränderung wird von der beim Obersulzbach-Gletscher beobachteten (60 Mill.) nahezu erreicht, von der des Rhonegletschers (175 Mill.) weit übertroffen.

Ich vermute also, dass der Unterschied in der Bewegungsart zwischen dem Vernagt- und anderen Gletschern keineswegs ein grosser ist. Auch muss ich bemerken, dass die Verhältnisse des Thalbettes, Neigungswinkels u. dgl. zwar offenbar für rasche Bewegungen günstig, im übrigen aber keineswegs aussergewöhnliche sind, wie man sich durch einen Blick auf die Specialkarte der Oetzthaler Alpen (Section Wildspitze und Section Similaun), herausgegeben vom D. u. Ö. Alpenverein 1874, wo die Höhenschichten eingetragen sind, leicht überzeugen kann.

Ich glaube ferner, dass jeder Erklärungsversuch der Längenschwankungen unserer Gletscher nicht blos so beschaffen sein muss, dass er auch diese sogenannten »ausserordentlichen« Erscheinungen des Vernagt-, Sulden- und anderer solcher angeblich besonders stark schwankender Gletscher mit erklären kann, sondern dass er geradezu von diesen uns am genauesten bekannten und einzig gut beobachteten Fällen ausgehen muss, wenn er zu einem allgemein giltigen Resultat kommen will.

Die Beobachtungen am Vernagt lehren nun, dass die Schnelligkeit der Eisbewegung beim Vorstoss eine so grosse ist, dass schon 5—10 Jahre nach Beginn der neuen Bewegung der Maximalstand erreicht ist.

Aus der oben entwickelten Theorie ergibt sich nun von selbst, dass, wenn sie richtig ist, der Beginn der Schneeanhäufung ebenfalls nur einige Jahre weiter zurückzuverlegen, ausserdem aber ihre Fortdauer bis zum Beginn der Bewegung und noch darüber hinaus anzunehmen wäre. Das brauche ich nach dem früher Ausgeführten nicht noch einmal zu erörtern; ich will nur darauf hinweisen, dass es unter allen Umständen unrichtig ist, die Bewegungszeit von den hintersten Gletschertheilen ab zu rechnen. Bei einem schneereichen Jahre werden doch nicht blos die obersten Theile, sondern das ganze Firnfeld und vielleicht noch jene oben characterisirte Uebergangszone an der Vermehrung des Firns Theil haben, — sonst möchte diese Vermehrung wohl wenig austragen und spurlos

vorübergehen. Dann wird sich, aber der verstärkte Druck der vermehrten Firnmasse an jener Stelle, wo die Eiszunge aus dem Firnfeld tritt, sofort geltend machen. Unter allen Umständen ist also die Wurzel der Gletscherzunge der Ausgangspunkt der Beschleunigung oder Verzögerung, und von ihr ab ist dann die »Verzögerung der Periode« nach der beobachteten Geschwindigkeit und der Länge des Bettes zu berechnen.

Ich wäre also geneigt, als Zeitdauer für die »Verzögerung der Periode«, wie Forel das genannt hat, nicht jene Anzahl von Jahren anzunehmen, die vergeht, bis ein bestimmter Firntheil bis zum Gletscherende gekommen ist, sondern nur jene viel geringere, die zur Zurücklegung der Länge der Gletscherzunge, und zwar bei wachsendem Gletscher in sehr beschleunigtem Tempo der Eisbewegung, verbraucht wird. Und selbst das noch mit der Einschränkung, dass das Ende der Zunge, welches noch aus altem Eise besteht, bloß durch den Druck der nachschiebenden Massen in Bewegung gesetzt werden kann, bevor noch der erste grössere Querschnitt selbst bis zum Ende der Zunge gelangt ist.

Und um Zahlen auszusprechen — nur als beiläufige Beispiele, nicht als ob ich sie belegen könnte —, so denke ich, dass bei sehr excessiven Niederschlagsmengen und wenn sich mehrere Jahre von demselben Character wiederholen, schon nach 5 oder 10 Jahren die Wirkung am Gletscherende sich geltend machen könnte.

Ich denke mir also, dass z. B. das Ende des Rhonegletschers sicherlich zur Aufstauung und vorschiebenden Bewegung käme, wenn eine Verstärkung des Zuflusses erst nur einmal am Fusse des grossen Eissturzes angelangt wäre. Doch das ist nur eine Schätzung, um deutlicher zu machen, was ich meine.

Meteorologische Ursachen der letzten Gletscher-Oscillation. Wenn wir die aufgestellte Theorie an der Wirklichkeit erproben wollen, so drängt sich uns zunächst die Frage auf: Finden sich in den meteorologischen Listen Anhaltspunkte, den Vorstoss, der um 1850 stattgefunden hat, und den Rückgang, der seitdem herrscht, zu erklären?

Wir stehen da vor Allem an jener Schwierigkeit, die wir schon hervorgehoben, nämlich an der Unzulänglichkeit des Materials. Aus den ganzen Ostalpenländern haben wir nur eine einzige Beobach-

tungsreihe der Niederschläge, welche bis gegen den Anfang unseres Jahrhunderts hinaufreicht. Das sind die Beobachtungen von Klagenfurt. *) Nicht einmal von Wien liegen brauchbare Beobachtungen des Niederschlags von der Zeit vor 1852 vor, und auch das ausgezeichnete Kremsmünster lässt uns im Stich, denn 1840 fand eine Umstellung des Regenmessers statt, welche das Mittel von 856 mm auf 1035 mm brachte, **) wodurch die für uns brauchbaren feineren Unterscheidungen doch all zu sehr verwischt erscheinen.

Die Beobachtungen aller anderen Alpenstationen beginnen erst in der Zeit um 1850, oder umfassen nur kurze Zeiträume. ***) Auch die Brauchbarkeit der Klagenfurter Reihen für unsere Zwecke ist nicht über allen Zweifel erhaben. Hann hat in seinem citirten Aufsatz »Untersuchungen über die Regenverhältnisse der österreichischen Monarchie« nachgewiesen, dass die Regenvertheilung keineswegs auf dem ganzen Gebiet der Monarchie in einem bestimmten Jahre dieselbe ist, so dass es oft vorkommt, dass für Böhmen ein Jahr ein nasses ist, welches für die Alpenländer trocken ist oder umgekehrt. Dasselbe lehrt bezüglich verschiedener Theile der Alpen auch der Vergleich zwischen Genf und Klagenfurt, oder Mailand und Klagenfurt. Trotzdem constatirt auch Hann, dass gewisse Jahre oder auch Zeiträume nicht selten für grössere Bezirke einen übereinstimmenden Charakter besitzen, so, was für uns sehr wichtig ist, dass die Jahre 1852—58 für die ganzen Nordalpen eine sehr trockene Zeit gewesen sind.

Im übrigen ist doch Klagenfurt unseren Tauern nicht allzufern, und in Ermanglung von etwas besserem wollen wir uns dieser Liste zuwenden.

Ich habe auf Tafel 4 die jährlichen Regenmengen und ihre Aufeinanderfolge als Curve eingetragen, und in der Tabelle S. 42 finden sich die Elemente der Curve, dann die fünfjährigen Mittel und die Procente, um wie viel diese fünfjährigen Mittel das allgemeine Mittel übertreffen.

Daraus ergibt sich folgendes: Während die Jahre von 1817 angefangen mit wenigen Ausnahmen (1820, 1829—31) grössten-

*) Oesterreichische Zeitschrift für Meteorologie XV.

**) Hann, Sitzungsberichte der k. Akademie Band 81, S. 68.

***) Z. B. Salzburg, seit 1842.

Uebersicht der Regenmengen von Klagenfurt 1813—1878.

Jahr	Nieder- schlag	5jähr. Mittel	5jähr. Mittel in %	Jahr	Nieder- schlag	5jähr. Mittel	5jähr. Mittel in %
1813	1081	1094	113·4	1847	1107	1148	119
14	964			48	1092		
15	1103			49	1085		
16	1135			1850	1225		
17	838			51	1230		
18	541	866	89·8	52	914	902	93·5
19	832			53	889		
1820	1235			54	774		
21	884			55	916		
22	580			56	1017		
23	879	807	83·7	57	529	803	83·2
24	743			58	832		
25	996			59	969		
26	836			1860	1000		
27	980			61	684		
28	743	1006	104·3	62	848	943	97·8
29	1137			63	861		
1830	1116			64	1208		
31	1056			65	732		
32	739			66	1065		
33	981	756	78·4	67	1093	978	101·4
34	410			68	785		
35	616			69	994		
36	1033			1870	1143		
37	788			71	875		
38	1082	940	97·5	72	1273	1133	117·5
39	952			73	1072		
1840	997			74	977		
41	885			75	970		
42	963			76	1368		
43	1054	1124	116·6	77	946	1384	
44	1307			78	1384		
45	1169						
46	1126						

theils sich unter dem Mittel hielten und z. B. das fünfjährige Mittel der Jahre 1832—36 noch mehr als 200 mm unter dem allgemeinen Mittel blieb, beginnen mit 1836 die Jahre mit abnorm starkem Niederschlag immer häufiger aufzutreten, und dominiren von 1843 bis 1851 in einer sehr ausgesprochenen Weise, so dass durch diese 9 Jahre hindurch die Niederschlagsmenge durchschnittlich 17.8% über dem Mittel war, und kein einziges trockenes oder auch nur normales Jahr diese nasse Periode unterbrach. Von 1852 bis 1867 erreichte kein fünfjähriges Mittel das allgemeine, und die Zeit von 1857—61 blieb sogar um 16.8% hinter demselben zurück.

Ich stehe nun nicht an, die Regenperiode von 1842 bis 1852 für die Ursache des Vorstosses, und die trockene Periode von 1852 bis 1872 für die Ursache der aussergewöhnlichen Dimensionen des jetzigen Rückganges zu erklären. Die Curve zeigt am deutlichsten, wie bedeutend der Unterschied des Charakters der Witterung war. Wie stark ist der Ausschlag über das Mittel von 1842—52 im Verhältniss zu allen anderen Ueberschreitungen desselben.*) Auffallend ist nur die bedeutende Zunahme der Niederschläge in den Jahren von 1872 bis 1878, welche bereits wieder 17.5% beträgt und deren vollständige bisherige Erfolglosigkeit auf die Verlängerung der Gletscher, deren Rückgang bekanntlich trotzdem ununterbrochen fort dauert.

Es wäre verfrüht, sich gegenwärtig hierüber auszusprechen, da wir nicht wissen, was die nächsten Jahre bringen werden. Doch muss ich zweierlei constatiren. Erstlich: so hohe Jahressummen in den letzten Jahren vorgekommen sind (so z. B. 1872, 1876, 1878), so schoben sich doch zwischen diese nassen Jahre stets wieder trockene oder doch normale ein, und eine Ansammlung in der Weise, wie sie von 1842—51 möglich war, konnte da nicht vorkommen. Und zweitens: Die Firnfelder zeigen bis jetzt keine Anzeichen neuer Ansammlungen; im Gegentheil: unsere Gletscher sind gegenwärtig von der Höhe der Firnspitzen bis herab zu ihren Zungenenden in verhältnissmässig gleicher Weise vermindert, über-

*) In Flächeninhalten der von den Curvenstücken eingeschlossenen Räume ausgedrückt ergibt sich: der Raum zwischen dem Curvenstück 1842—52 und der Linie des Mittels beträgt 869 qmm; die nächstgrössten von 1872 und 73 und von 1876 nur 172 und 200 qmm.

all eingesunken, reducirt, verkleinert. Ich habe ein specielles Augenmerk seit Jahren auf die Veränderung gerade der Firnfelder gerichtet, und meine eigenen Beobachtungen stimmen mit denen vieler Alpenwanderer und Führer, die ich befragt, nach dieser Richtung vollständig überein. Ein Führer, der seit einem Jahrzehnt in den Hochalpen vom Glockner bis zum Mont Blanc zahlreiche Touren gemacht und alle dominirenden Gipfel wiederholt bestiegen hat, schreibt mir: »Meine Ansicht, welche ich mir seit vielen Jahren bei Gebirgswanderungen machte, ist, dass auch die Firnfelder selbst in hoher Lage fast allgemein zurückgehen und manche ganz ausapern (schneefrei werden). Ich erwähne nur die Firnfelder in der Glockner- und Monte Rosa-Gruppe.« (Hierauf folgen einige specielle Beispiele, darunter eines aus der Ortlergegend.) Am Obersulzbachfirn, dessen Configuration mir durch langdauernde genaue Besichtigung gut im Gedächtniss ist, habe ich von 1880—82 eine sehr bedeutende Vergrößerung der schneefreien Hänge beobachtet. Professor Fr. Simony besitzt die werthvollsten darauf bezüglichen Einzeichnungen auf seinen Photographien der Dachsteingletscher. Am Carlseisfeld kommen ganze Felsrücken mitten aus dem Firn hervor. An der Spitze des Hohen Tenn bei Zell am See ist seit 1875 ein Felszahn sichtbar geworden, so dass der Gipfel kein Firngipfel mehr ist. Solche Beobachtungen kann man von den Einheimischen in jedem Alpenthal in beliebiger Anzahl hören.

Wir stehen also noch heute in einer Periode der Verkleinerung der Gletscher, und haben in so lange keine Wiederkehr der Vorrückungsperiode zu gewärtigen, als durch mehrere Jahre mit aussergewöhnlich starken Schneefällen und einem deren Conservirung günstigem Wetter ein neuer Anstoss gegeben wird, — das heisst der jetzige Zustand der Firnfelder ist kein solcher, dass man daselbst noch Ueberschüsse vergangener Jahre vermuthen könnte. Natürlich gilt das alles besonders von den östlichen Alpen. Aus der Mont Blanc-Gruppe verlauten bekanntlich Nachrichten von neuerlichem Vorgehen der Gletscher. Ich will hieran nicht mäckeln, kann jedoch die Bemerkung nicht unterdrücken, dass bei meinem Besuch dieser Gegenden im Jahre 1879 der Gesamtcharakter der Gletscher dieser Gruppe genau derselbe war, wie der in den übrigen Theilen der Alpen: nemlich eine sehr weitgehende Verminderung sowohl in der Länge als Dicke, so dass der Glacier du Tour,

d'Argentière und des bois in ganz enormen Schuttbetten sehr unscheinbar sich zu verkriechen schienen.

Dieser Zustand der Firnfelder ist auch ein sehr schwerwiegendes Argument gegen die Verlegung der Ursache des jetzigen Rückganges in die Periode der trockenen Jahre 1830—1840. Wäre jetzt erst der Ausfall an Firn, der 1830—40 stattgefunden haben soll, am Ende des Gletschers merklich, so müsste die grosse Ueberschussperiode von 1842—52 jetzt in der Mitte der Gletscherzungen oder am Ende der Firnfelder sich doch irgendwie durch eine Schwellung, eine Fülle des Eiskörpers bemerklich machen, wovon aber durchaus nichts zu beobachten ist.

Von diesem Standpunkt aus angesehen, ergibt nun Forels sinnreiche Tabelle, in welcher er die Niederschlagssumme der jeweiligen letzten 10 Jahre mit einander vergleicht, ein anderes, aber wie mir scheint bestimmteres Resultat, als Forel selbst gezogen hat. Diese Tabelle zeigt (für Genf), dass die Jahre von 1842 bis 1857 ohne Ausnahme bedeutend reicher an Niederschlägen waren, als die Durchschnittsziffer angibt, und zwar steigert sich dies bis 1849, wo die Niederschlagssumme des Decenniums von 1839—49 das Mittel um 1128 mm überschreitet. Seit der Mitte der vierziger Jahre wachsen nun einzelne Gletscher und in dem Decennium von 1850 bis 1860 haben bekanntlich fast alle das Maximum erreicht; seitdem gehen sie zurück. Und auch das ist aus der Tabelle leicht erklärlich, denn von 1858 bis 1878 sind mit wenigen Ausnahmen die Decennalsummen unter dem Mittel geblieben.

Ich reproducire auf S. 46 die Forel'sche Tabelle nochmals, indem ich die gleichen Berechnungen für Klagenfurt daneben stelle.

Es wird hier ersichtlich, dass der Witterungsgang oder besser die Schneeanhäufungen in der grossen Ueberschussperiode von 1842 ab ziemlich parallel laufen, dass aber das Maximum in Genf früher erreicht wird. Hingegen weichen später die Ergebnisse ziemlich stark ab. Im allgemeinen sind die Schwankungen grösser in den Ostalpen als in den westlichen, was auch von der Beobachtung bestätigt erscheint. Nebstbei wird auch deutlich, dass die Verschiedenheiten der Witterung in verschiedenen Theilen der Alpen immerhin gross genug sein können, um ein verschiedenes Verhalten der Gletscher zu rechtfertigen.

Abweichungen der zehnjährigen Summen der Niederschlagsmengen vom Mittel (in Millimetern).

Jahre	Für Klagen- furt	Für Genf	Jahre	Für Klagen- furt	Für Genf
Von 1826—1835	—1061	— 448	Von 1846—1857	+ 31	+ 146
1836	— 864	— 443	1858	— 229	— 39
1837	— 956	— 763	1859	— 345	— 228
1838	— 617	— 697	1860	— 570	+ 43
1839	— 802	— 792	1861	—1116	+ 163
1831—1840	— 921	— 581	1862	—1182	— 88
1841	—1157	— 505	1863	—1210	— 75
1842	— 933	+ 44	1864	— 776	— 38
1843	— 860	+ 316	1865	— 960	— 396
1844	+ 37	+ 458	1866	— 912	— 435
1845	+ 490	+ 525	1867	— 348	— 54
1846	+ 583	+ 943	1868	— 395	— 57
1847	+ 902	+1120	1869	— 370	+ 1
1848	+ 912	+1098	1861—1870	— 227	— 275
1849	+1045	+1128	1871	— 36	— 447
1841—1850	+1273	+ 812	1872	+ 389	— 106
1851	+1618	+ 529	1873	+ 600	— 209
1852	+1569	+ 443	1874	+ 369	— 295
1853	+1404	+ 336	1875	+ 607	— 9
1854	+ 871	+ 85	1876	+ 910	— 127
1855	+ 618	+ 329	1877	+ 763	— 94
1856	+ 509	+ 294	1878	+1362	+ 231

Zur Erklärung: Die Summe der Niederschläge der Jahre 1826—1835 beträgt für Klagenfurt 8579 mm
 Das Mittel des Niederschlags für ein Jahr 964 mm
 Die mittlere Summe für 10 Jahre 9640 mm
 Der Unterschied beträgt also —1061 mm

Wenn die oben aufgestellte Theorie richtig ist, so würde also in den niederschlagreichen Jahren von 1842—1852 die Ursache eines grossen Vorstosses der Gletscher zu suchen sein, auf welchen naturgemäss eine Periode des Rückganges, der Rückkehr zu normalen Verhältnissen folgte, in der wir noch jetzt stehen, und welche ihrerseits um so excessiver auftreten musste, als eine Reihe sehr trockener Jahre sich einstellte.

Vergleichen wir endlich die Zahlen, welche sich aus den Klagenfurter Listen und meinen Messungen am Obersulzbach-Gletscher ergeben, so finden wir Folgendes: Eine Ueberschreitung des angenommenen Mittels an Firnzuwachs (1 m) um 17·8⁰/₁₀ durch 10 Jahre und auf einer Firnfläche von 10 Mill. qm ergibt eine Vermehrung des Firnes von 17·8 Millionen cbm, welche also den Vorstoss herbeigeführt haben müsste. Wenn wir nun auch noch annehmen, dass der Firnzuwachs durch Vergrösserung des Firnfeldes, wie oben ausgesprochen, noch weiter vermehrt, ausserdem die Abschmelzung der Gletscherzunge durch häufige und verlängerte Schneebedeckung in jenen schneereichen Jahren bedeutend vermindert worden sei, so werden wir doch kaum eine Summe erreichen können, welche der Verlustziffer von 60 Mill. cbm, die wir oben für unseren Gletscher gefunden, gleichwerthig wäre. Wir werden also schliesslich zur Annahme gedrängt, dass der gegenwärtige Rückgang noch über die Zerstörung der früher vorgeschobenen Massen zurückgegriffen hat; oder anders ausgedrückt, dass der Gletscher jetzt kleiner ist, als er vor Beginn der letzten Vorstossperiode war. Um ihn daher neuerdings auf die einstige Grösse zu bringen, müsste eine noch länger dauernde und ergiebigere regenreiche Periode eintreten, als die von 1842—1852 war.

Wirkung des Gletschers auf die Bodengestaltung. Die Lebhaftigkeit, mit welcher gegenwärtig der Streit über die erodirende Kraft der Gletscher geführt wird, rechtfertigt es vielleicht, wenn ich einige Beobachtungen mittheile, welche ich über diese Fragen auf unserem Terrain anzustellen Gelegenheit hatte, wenn sie vielleicht auch nur wenig Neues bieten.

Diejenige Erscheinung, welche bei einer Begehung des jetzt vom Gletscher verlassenen Gebietes vielleicht am meisten in die Augen fällt, ist der Reichthum an ausgezeichnet schönen Gletscherschliffen. Das Gestein besteht fast im ganzen Bette des Obersulzbach-Gletschers und noch ziemlich weit thalauswärts aus einem sehr harten hellfarbigen Gneiss, der in schönen rhomboedrigen Stücken abbrechen pflegt. Daher setzen sich auch die Moränen fast ausschliesslich aus demselben Material zusammen. Wie die Karte lehrt, ist nun das jetzt eisfreie Terrain keineswegs eben, sondern mit mehreren vorspringenden Rücken und einzelnen Hügeln

(*B*, *D*, *F* und anderen) besetzt. Alle diese Unebenheiten, sowie die Stufen zwischen *E* und der Ebene der Standlinie sind nun vom Gletscher blank geschliffen. Ich habe in den gesammten österreichischen Alpen nirgends so schöne und zahlreiche Gletscherschliffe gesehen. Sie sind zum Theil noch so blank, dass sie spiegeln, reichlichst mit Kritzen überzogen, überhaupt ganz typische und ausgezeichnet schöne Proben ihrer Art. Einzelne Punkte, z. B. der Berg, welcher den Punkt *B* trägt, sowie der westlich hievon gelegene Hügel 1862 zeigen auch sonst äusserst lehrreiche Beispiele der drei Angriffsmethoden, welche die Natur gegen dieses scheinbar unverwüstliche Material in Bewegung setzt. Die Köpfe dieser Hügel sind vom Gletscher scharf und rein abgerundet; die dem Stoss abgekehrten Nordseiten zeigen die würfelige Zerklüftung, welche durch die Verwitterung hervorgerufen wird, und über beides weg hat das fließende Wasser (bei 1862 rinnt ein Bach gerade über den Scheitel des Hügels) seine tiefen Furchen karrenartig eingegraben. Ich bedauere nur, durch das fortwährende schlechte Wetter verhindert worden zu sein, eine Zeichnung dieses Objectes beizufügen.

Auf die Gefahr, unzählige Male Gesagtes zu wiederholen, will ich auch darauf aufmerksam machen, dass auch hier deutlich zu sehen ist, wie gering die Kraft des Gletschers ist, festes Gestein abzuschleuern. Seit der Eiszeit, wo diese Gegenden ohne Zweifel im Firn begraben waren, hat der Gletscher schon wiederholt sich über diese Hügel und Klippen, die ihm so sehr im Wege stehen, hinübergeschoben, ist im verhältnissmässig raschen Tempo über sie weggeflossen, ist dann wieder zurückgewichen, hat sie Jahrzehnte lang der Verwitterung in freier Luft ausgesetzt, hat sie mit dem Geröll seiner Endmoränen bedeckt, hat dieses Geröll bei neuem Vorschreiten über sie weggeschleift und zerrieben und trotzdem stehen sie noch jetzt als bedeutendes und unbesiegttes Hinderniss seiner Stossrichtung entgegen. Besonders der Punkt *C* befindet sich auf einer kantigen **Klippe**, deren Rücken so scharf ist, dass er uns nöthigte, den Messtisch so zu sagen rittlings über ihn zu stellen; und nicht einmal diesen Zahn abzubrechen war der Gletscher stark genug.

Wenn nun auch die deutliche Abrundung und Schleifung, welche diese und alle anderen Felsen im Gletscherbette zeigen,

die Thatsache einer Abscheuerung des Gesteins unzweifelhaft bestätigen, so beweist doch, wie mir scheint, die ungestörte Fortdauer so vieler und scharf aufragender Hindernisse mitten im Gletscherbette von neuem, wie oberflächlich und daher geringwerthig diese Abschleifung ihrem Effect nach ist.

Recht lehrreich ist in dieser Beziehung auch ein Vergleich der Wirkung des Gletschers einerseits und des Baches andererseits auf die Stufe, über welche sich beide herabzuwerfen haben. Während der Gletscher den aus dem Stufenrand hervorragenden Berg *B* unbesiegt stehen lassen musste, während er ohne Zweifel am Stufenrand, wo die Bewegung sehr beschleunigt ist, so viel erodirende Kraft anwenden konnte, als ihm überhaupt zukommt, und trotzdem die Stufe sammt ihren Vorsprüngen scharf und deutlich dasteht, hat der Bach seinerseits den Anfang einer Klamm in dieselbe Stufe eingesägt, welche bereits so tief ist, dass sie hie und da den Bach fast der Sichtbarkeit entrückt. Welches Agens also schneller und ausgiebiger arbeitet, ist hier recht schön zu sehen.

Ein anderer beachtenswerther Punkt ist das Verhalten des Gletschers zu den Schuttkegeln, welche zum Theil die Seitenwände seines Bettes bilden. Unsere Zeichnung (Tafel 2) lehrt, dass das rechte Ufer des Gletschers, soweit die eigentliche Zunge reicht, von Sturzkegeln begleitet ist, welche sich an die zerklüfteten Felswände oder vielmehr an die zahlreichen tiefen und steilen Klammen anschliessen, von welchen jene durchfurcht sind. Diese Sturzkegel hat nun der Gletscher zur Zeit seiner Grösse bis auf 70—80 m von der Thalsole aufwärts bedeckt, jetzt liegen sie bis herab zu ihrer Basis frei. Hier muss nun deutlich zu Tage treten, wie sich der Gletscher zu solchem leicht verschiebbaren losem Material verhält. Und hier zeigt sich deutlich, dass der Gletscher nicht einmal solches zu beseitigen, oder auch nur irgendwie zu verschieben vermag. Die Sturzkegel sind vom Gletscher an ihrer Basis so gut als gar nicht angegriffen worden, so dass also der Abfallwinkel dieser Kegel oberhalb und unterhalb der einstigen Eishöhe so ziemlich der gleiche ist. Es ist allerdings eine Knickung im Verlaufe des Profils vorhanden; aber diese rührt nicht von einem Angriff an der Basis des Kegels, sondern von der Aufschüttung der Ufermoräne zur Zeit des höchsten Eisstandes her. Die stark verwitternden Felswände oberhalb senden fortwährend Trümmer

herab, die natürlich zur Zeit des höchsten Eisstandes nicht weiter fallen konnten, als bis in die Fuge zwischen Berghang und Eis. Dazu kamen noch Schutttheile aus der Schuttbedeckung des Gletschers selbst (Fig. 1). Als nun der Gletscher sich senkte, musste jener Theil der Moräne, welcher auf dem Eise basirt war, nachstürzen, ein anderer Theil aber konnte sich erhalten und ist

Veränderung des Abfallwinkels
durch den Gletscher

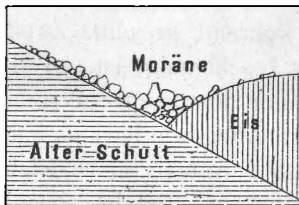


Fig. 1.



Fig. 2.

durch fließendes Wasser.

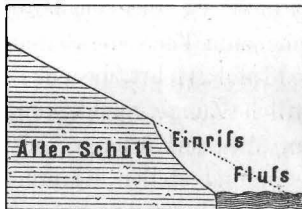


Fig. 3.

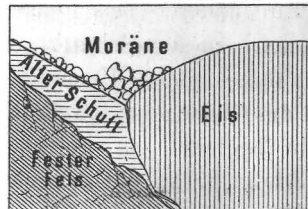


Fig. 4.

nun als Ufermoräne dem alten Schuttkegel aufgelagert. Da nun von oben fortwährend Trümmer nachbröckeln, welche aber in der Regel durch die Ufermoräne aufgehalten werden, so wird der Neigungswinkel des Kegels oberhalb der Moräne verringert, durch die Aufthürmung derselben aber unterhalb vergrößert (Fig. 2). Dadurch erscheint der ganze Hang in der Weise gebrochen, wie das auf unserer Zeichnung ersichtlich ist, ohne dass von unten etwas beseitigt worden wäre. Daraus geht aber deutlich hervor, dass der Gletscher die Schuttkegel, die er an seinen Ufern vorfindet, nicht beseitigt, ja kaum angreift.

Wäre das letztere der Fall, und würde der Gletscher die ihm im Wege stehenden Theile des Schuttkegels vor sich herschieben oder wenigstens mit der Zeit wegreiben — das Thal »ausputzen« —,

so müssten die Uferländer jetzt ganz anders aussehen. Es müsste doch zunächst der Fuss der Schuttkegel beseitigt sein, wie das auch bei den Angriffen des fliessenden Wassers geschieht (Fig. 3), überhaupt der anstehende Fels wenigstens hie und da zu Tage kommen. Ferner könnte sich die Ufermoräne nirgends erhalten haben, sondern müsste sammt und sonders in die Tiefe gestürzt, ja auch oberhalb müssten im Schuttkegel bedeutende Nachstürze zu sehen sein (Fig. 4). Davon ist aber nirgendwo eine Spur zu sehen. Könnte übrigens noch irgend ein Zweifel in dieser Sache bestehen, so müsste er schwinden Angesichts des Verhaltens des Gletschers zu dem letzten und weitaus grössten dieser Schuttkegel des rechten Ufers, dem Stierlahner. Als der Gletscher zur Zeit seiner Grösse von den Klippen *E*, *F* und *C* weit nach rechts abgelenkt und dadurch mit seiner Hauptstossrichtung an das rechte Ufer geworfen wurde, traf er da auf jenen aussergewöhnlich grossen Schuttkegel, der in einer Höhe von etwa 2300 m in den Wänden entspringend mit seiner linken Seite auf der oberen Thalstufe, mit seiner rechten auf der unteren auslaufend, ein offenbar leicht zu beseitigendes Hinderniss darstellt. Und doch hat ihn der Gletscher nicht im geringsten angegriffen, sondern ist von ihm abgelenkt und wieder nach links zurückgebogen worden. Der Gletscher hat ihn einfach umflossen, wie auf der Karte deutlich zu sehen ist.

Ufer- und Seitenmoränen. Ich verdanke dem berühmten Beobachter des Rhonegletschers, Herrn Phil. Gosset, den Hinweis auf die Nothwendigkeit, die beiden Begriffe auseinander zu halten, welche mit diesen technischen Ausdrücken bezeichnet werden. Ufermoräne ist der Randwall, welcher an den Ufern des Gletscherbetts angelagert wird und daher zurückbleibt, wenn die Eismasse sinkt, Seitenmoräne sind die Schuttlager, welche auf dem Eise selbst liegen und mit diesem fortrücken. Die erstere wird an jedem Platze des Gletscherrandes zumeist von den eben dort befindlichen Felswänden herkommen, die letztere erhält ihre Nahrung vornehmlich aus den Rändern des Firnfeldes, und schmilzt erst nach und nach aus dem Eise aus. Beide vermischen und vertauschen ihr Material mannigfach, da sowohl allenthalben einzelne Blöcke und ganze Stürze von den Bergwänden auch weiter unten bis auf das Eis gelangen, andererseits die Geschiebe, welche auf dem Eise liegen, nach und

nach von der Wölbung herabgleitend, ihren Platz in der Ufermoräne finden —, wenn sie nicht bis zum vorderen Ende des Eises gelangen. So grossartig in unserem Falle die Ufermoränen entwickelt sind, so geringfügig sind die eigentlichen Seitenmoränen; das heisst, die Schuttbedeckung des Gletschers ist zwar in der Mitte sehr bedeutend, an den Rändern hingegen schwach. Endmoränen, Stirnwälle sind nur in sehr geringem Maasse entwickelt. Sie finden sich eigentlich nur in der Basisebene, wo der Gletscher wahrscheinlich als flacher Eiskuchen auslief und die Trümmer, die ihn bedeckten, an seinem Rande ablagerte. Sie ziehen sich in einem Kranze von *B* bis zum Beginn der grossen linksseitigen Ufermoräne bei 1927.

Jetzt erzeugt der rückgehende Gletscher nirgendwo mehr Randwälle. Auf dem grossen ebenen Boden, welchen der alte Weg zur Kürsinger-Hütte durchschneidet, ist keine Spur davon zu sehen, und auf der Ebene unterhalb *E* finden sich andere Erscheinungen, von denen sogleich zu reden sein wird. Zwar stürzen von dem hochaufgewölbten, gänzlich mit Schutt bedeckten letzten Ausläufer des Gletschers fortwährend grössere und kleinere Trümmer herab, doch vollzieht sich der Rückzug so schnell, dass dies nicht zur Bildung eines Ringwalles, sondern nur zu einem dichten Besäen des Bodens mit aller Art von Geschieben und Schlamm führt.

Wenn ich davon sprechen soll, was ich etwa über die Erscheinungen der **Grundmoräne** beobachtet habe, welche in der Deutung der diluvialen Schuttanhäufungen eine so grosse Rolle spielt, so kann ich nur sagen, dass ich ein Hervorquellen solcher zerriebenen und abgerundeten Geschiebe unter dem Gletscher nirgends wahrgenommen habe, wie es stattfinden müsste, wenn die Grundmoräne vom Gletscher in so bedeutender Weise dislocirt würde, als man das anzunehmen scheint. Wo der Gletscher wich, befinden sich jetzt, wie oft erwähnt, entweder allerlei Hügel und Buckel mit Gletscherschliffen oder schwach geneigte, fast horizontale Schuttebenen, beide dicht besät mit den Geschieben der Oberflächenmoräne. Wo der Gletscher erst vor kurzem sich zurückgezogen hat, dort sieht man neben den scharfkantigen, durch alle Grössen variirenden Blöcken auch massenhaft jenen grauen glimmerreichen Sand oder Schlamm, wie er durch die Zerstörung, sei es Zerreibung oder Verwitterung des Gneisses entsteht. Dieser

Schlamm stammt aber keineswegs nur aus der Grundmoräne, wie einige unter den Glacialgeologen vermuthen. Vielmehr ist das Eis in der Breite der ganzen mächtigen Mittelmoräne mit einer im Durchschnitt gewiss 5—10 cm dicken Schichte dieses Materials überzogen, welches nun vom Regen und von den Schmelzwässern unablässig in die Spalten oder über die Böschung des Eises hinabgespült und so dem Bach zugeführt wird, welcher denn auch die gewöhnliche — übrigens sehr wechselnde — Trübung der Gletscherwässer zeigt. Ob dieser Schlamm der Oberfläche mehr durch die Verwitterung oder durch die Reibung der Geschiebe in der Mittelmoräne entsteht, will ich nicht beurtheilen. In jenen Gegenden, die bereits mehrere Jahre eisfrei sind, ist dieser Gletschersand fast ganz weggespült, die kantigen Blöcke liegen ohne Bindemittel neben- und aneinander und auf den geschliffenen Platten; nur in den Bodensenkungen finden sich Schlamm und kleinere Geschiebe nach den Gesetzen der Wasserspülung aufgehäuft, nicht selten als Böden winziger Seen von einigen Quadratmetern Grösse. Bald sind diese seichten Becken ausgefüllt, die kleinen feuchten Sandflächen, die zurückbleiben, überziehen sich mit Algen, und dienen so dem Anfang der Vegetation in diesem öden Steingewirre.

Soviel man wahrnehmen kann, liegt der Gletscher überall da, wo das anstehende Gestein nicht in Buckeln hervorragt, auf ziemlich ebenem, fast horizontalem Schutt, der in seinen oberen Schichten ebenfalls reich an jenem grauen Sand ist. Unaufhörlich spült ihn der Gletscherbach unter dem Eise hervor, reisst ihn entweder mit sich hinab bis in die Stauungsgebiete der Längsthäler oder der Ebene, wo man ihn dann in Bänken von oft mehreren Metern Mächtigkeit abgelagert findet, oder deponirt ihn sofort wieder auf den erwähnten schwach geneigten Ebenen, wo er dann mit den Blöcken der Oberflächenmoräne besät wird. Dass das Material der Grundmoräne ganz ungestört bleibt, weder durch Wasserspülung sortirt, noch mit dem Material der Oberflächenmoräne vermengt wird, dürfte nur ganz ausnahmsweise vorkommen.

Moränenbildung durch fliessendes Wasser. Durch einige merkwürdige Veränderungen der Bodengestaltung, welche ich bei meinem

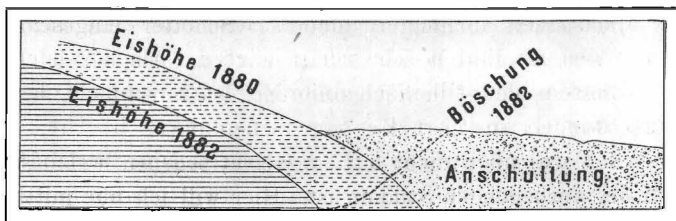
zweiten Besuche 1882 vorfand, wurde ich auf eine Erscheinung aufmerksam, welche ich mit dem obigen Namen belegen möchte und deren Deutung vielleicht zur richtigeren Auffassung mancher glacialen Bodenformen etwas beitragen könnte.

Am linken Ufer bei *W* fand ich nämlich den Gletscher im Jahre 1882 von einem etwa 3—4 m hohen Stirnwall eingesäumt oder vielmehr, das Gletscherende war ebenso tief in eine breite Schotterterrasse eingesenkt, welche mit dem möglichst grössten Neigungswinkel (etwa 35°) gegen den Gletscher zu abstürzte.



Hatte hier der Gletscher einen kurzen Vorstoss gethan? Das war völlig undenkbar, da nicht ein schwacher Wall, sondern eine breite Terrasse vorlag (— vorausgesetzt, dass vorschreitende Gletscher Stirnwälle vor sich herschieben, was ich wenigstens nicht glaube).

Doch bald sah ich die Erklärung. Ein Bächlein, das vom Abhang herabfließt, auf der Karte aber nicht angegeben ist, weil die ganze Stelle auf einem Gebiet liegt, das 1880 noch mit Eis



bedeckt war, nämlich zwischen 1936 und *W*, hatte bei einem Regenguss eine sehr bedeutende Aufschwemmung gemacht, welche zum Theil auch auf das Eis zu liegen kam. Als nun der Glet-

scher zurückwich und sich noch weiter senkte, musste die steile Böschung und der scheinbare Stirnwall entstehen, wie der Querschnitt S. 54 deutlich zeigt. Ich fand dann dieselbe Erscheinung am selben Ufer etwas weiter aufwärts, gerade dort, wo die Karte aufhört, noch einmal sehr schön und deutlich (siehe Zeichnung). Dort ist die Sache dadurch besonders einleuchtend, weil unter der Aufschüttung noch der Eisrest zu sehen ist, von dem bei *W* nichts wahrgenommen werden konnte.

Ich kann nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, welche Ausdehnung diese Erscheinung annehmen musste, als die Gletscher der Eiszeit die grossen Längsthäler ausfüllten und noch weit in die Ebene hinausreichten. Damals kam gewiss nicht aus jedem Seitenthal ein Gletscherzufluss, besonders in den Voralpen oder anderen niedrigeren Gebirgstheilen. Vornehmlich zur Zeit des Rückganges rissen die schwächeren Zuflüsse knapp am Hauptstrome ab und zogen sich in ihre Querthäler zurück. Dann entströmte aber jedem solchen Thal ein mächtiger Bach, der seine bedeutenden Schottermengen in einer ähnlichen Weise dem Eise des Hauptgletschers an- und auflagern musste, wie ich es von jenen kleinen Bächlein beobachtete, die jetzt dem Obersulzbach-Gletscher zulaufen. Wenn dann der Hauptgletscher auch verschwand, musste er an seinen Rändern Schotterterrassen zurücklassen, welche auf die beschriebene Weise entstanden sind und deren steiler Abfall gegen das alte Gletscherbett also weder durch nachträgliche Wassererosion, noch etwa gar durch Gletschererosion, sondern durch den Eisrückgang selbst zu erklären wäre.

Vielleicht könnten die tiefen Mulden, als welche der Ammersee, Starnberger und Chiemsee nach den Angaben der Geologen in die ungestörten Schichten glacialer Schotter eingesenkt erscheinen, auch auf diese Weise erklärt werden. Als der letzte mit solchen Schottern längst hochbedeckte Eisrest zerschmolz, bewirkte sein Verschwinden eine Art Einsturzerscheinung.

Doch ich will mich nicht auf ein Gebiet begeben, welches nicht das Feld der vorliegenden Studien ist. Hier will ich nur mittheilen, was ich bei den Gletschern der Gegenwart zu sehen vermeinte.

Und das sind in der zuletzt besprochenen Richtung nur noch zwei Punkte. Der erste betrifft die sogenannten Riesentöpfe. Von solchen ist mir auf dem ganzen einst vom Gletscher bedeckten

Gebiet kein einziger vorgekommen, obwohl die schön geschliffenen Platten und Höcker alle Arten von Wassererosion zeigen, da sie ja sowohl gegenwärtig als früher unter dem Eise von vielerlei Wasser-rinnsalen übersponnen worden sind. Ich möchte mich daher der Meinung anschliessen, dass dieselben ein von der Gletscherbedeckung unabhängiges Phänomen sind.

Der zweite Punkt, den ich erwähnen will, ist dann der Hinweis, dass ein Rückgang der Gletscher das dem fließenden Wasser zu Gebote stehende Schuttmaterial ungemein vermehrt, ein Vorschreiten aber dasselbe vermindert. Ein Gebiet von fast 500,000 qm, welches mit allen Arten loser Geschiebe dicht besät ist, die zum Theil aus leicht schwembarem Sand bestehen, ist den Regengüssen und den vielfach gespaltenen, stets in ihrer Wasserhöhe und ihren Betten wechselnden Bachläufen preisgegeben, während es früher durch eine schwere Eismasse vor den Angriffen der Regen, sowie an vielen Stellen auch vor dem rinnenden Wasser geschützt war. Besser als theoretische Erwägungen spricht der Augenschein selbst hier sein Urtheil. Wie schon erwähnt, ist das Geschiebe in jenen Theilen des alten Gletscherbettes, die schon lange verlassen sind, vom fließenden Wasser ausgelaugt und sortirt, wo der Gletscher erst kürzlich sich zurückzog, sind ungeheure Mengen losen Materials mit gröberem Stücken bunt gemischt.

Wenn ich nun zusammenfassen soll, was sich mir über die Fragen der Einwirkung des Gletschers auf seine Unterlage aus dem Befunde am Obersulzbach-Gletscher ergeben hat, so muss ich sagen:

Es unterliegt keinem Zweifel, dass der Gletscher seine Unterlage abschleift, dass er also an geeigneten Punkten, wie am Rande einer Stufe, über die er sich hinabstürzt, erodirend oder besser nivellirend wirken wird. Der Umstand, dass er aber nicht einmal die im Wege stehenden Schuttkegel zu beseitigen vermochte, zeigt, dass seine Bewegungs- und Strömungsart keineswegs eine solche ist, dass er Thäler ausputzen oder vollends Mulden ausgraben kann. Die unter ihm liegenden Schuttmassen zerreibt er an der Oberfläche und erfüllt sie mit dem feinen Sande, der als Schleifungs- und Verwitterungsproduct ihn allenthalben einhüllt. Aber

er schiebt sie nicht vor sich her, sondern er überfließt sie. Wie er eine Mulde ausschaulen oder ausschleifen soll, ist mir, wie vielen Anderen, einfach unbegreiflich. Auch appellire ich an alle jene, welche den Gletschern der Gegenwart einige Aufmerksamkeit geschenkt haben, ob sie irgendwo auch nur die kleinste Spur oder Andeutung einer solchen ausgescheuerten Mulde gesehen haben? Und doch müssten sich solche Andeutungen zeigen, wie sich auch alle anderen Erscheinungen unseres Phänomens bei den einstigen diluvialen Gletschern und ihren zwerghaften Ueberresten in gleicher oder doch ähnlicher Weise vorfinden.

Zu Tafel 2: Der Hügel in der Mitte des Vordergrundes trägt den Punkt *B*; rechts daneben liegt die Ebene, in welcher die Basis gemessen wurde. Auf dem Vorsprung der Thalwand rechts (für den Beschauer) befindet sich Punkt *A*.

Zu beiden Seiten sieht man die Moränen an den Berglehnen hinziehen.

Der dominirende Gipfel im Hintergrund ist der Grosse Geiger 3352 m.

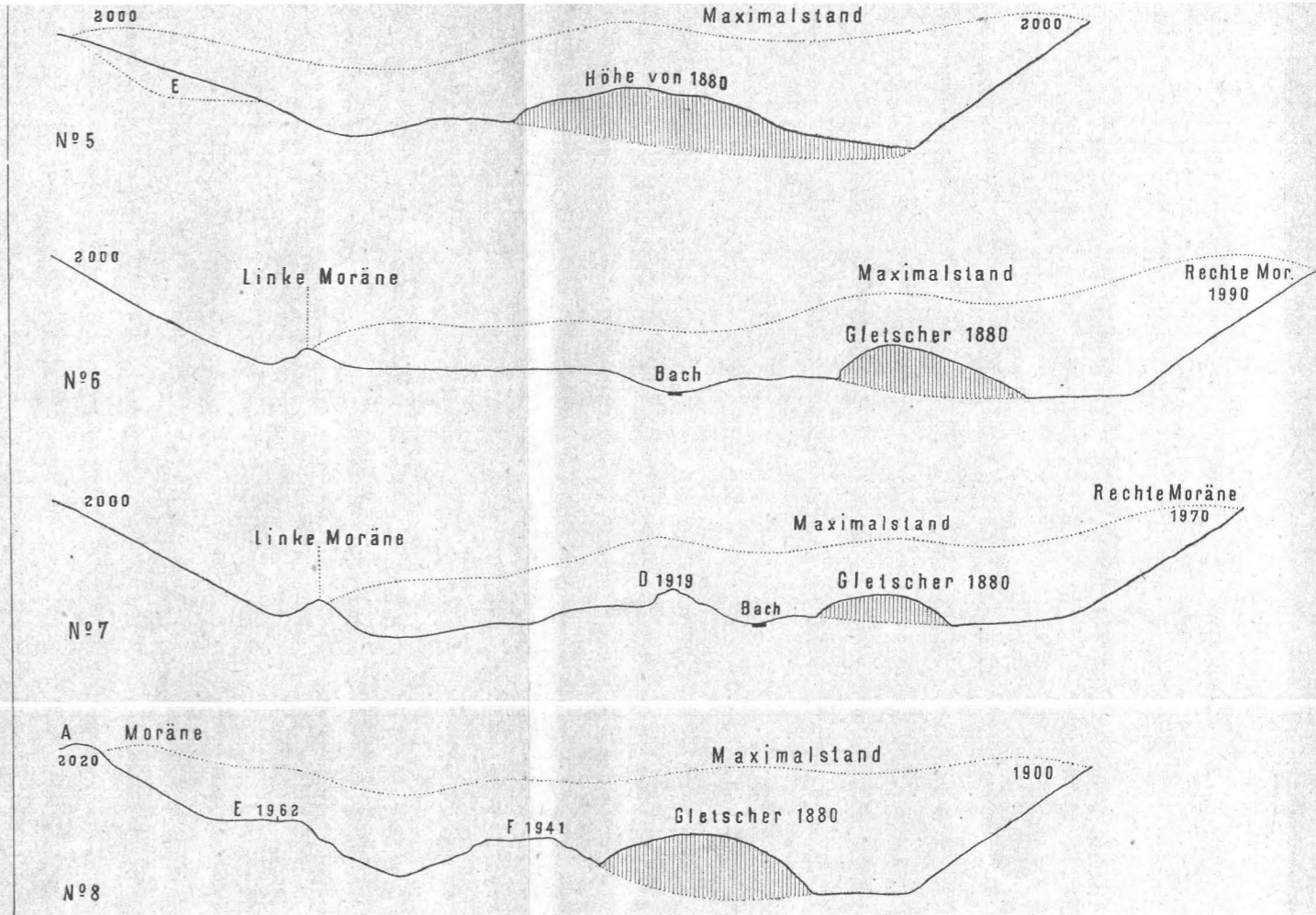
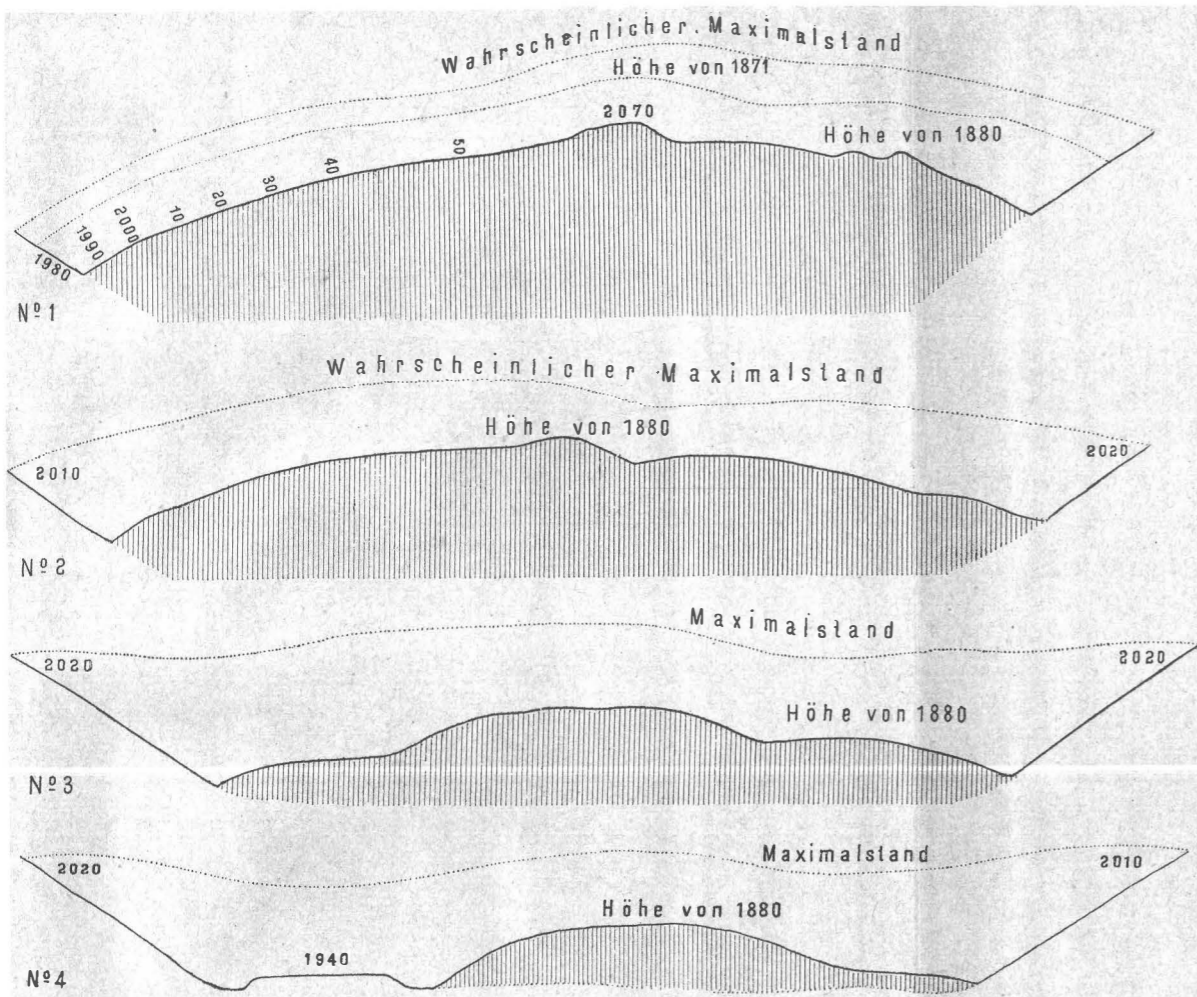
Berichtigung: S. 30, Z. 16 von u. muss es heissen: das »n-fache« statt »a-fache«.



Ed. Richter n. d. N. gez.

Der Obersulzbach-Gletscher im Herbst 1882.

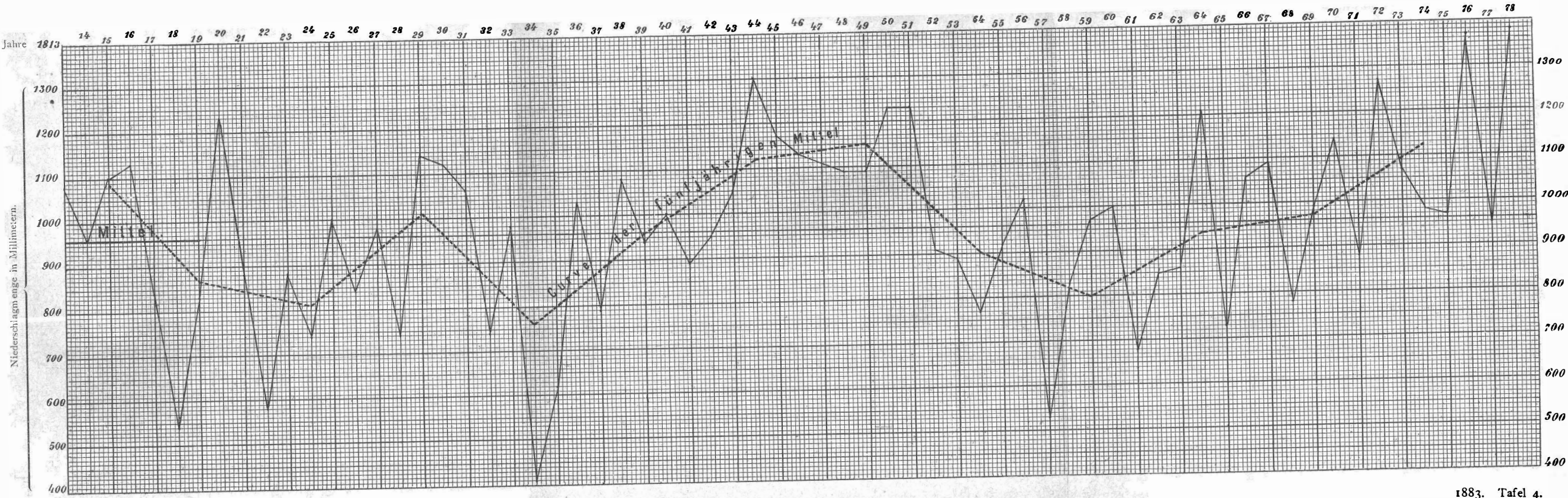
Zeitschrift des D. u. Ö. A.-V. 1883. Tafel 2.



Ed. Richter gez.

Zeitschrift des D. u. Ö. Alpenvereins 1883. Tafel 3.

Querschnitte durch die Zunge des Obersulzbach-Gletschers.



Curve der jährlichen Niederschlagsmenge in Klagenfurt 1813—1878.