Zeitschrift: Jahrbuch der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft
Herausgeber: St. Gallische Naturwisenschaftliche Gesellschaft
Band: 46 (1905)

Artikel: Über glaziale Erosion und über die Ursachen der Eiszeit
Autor: Ludwig, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-834918

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

VIII.

Über glaziale Erosion und über die Ursachen der Eiszeit.

Von **A. Ludwig.**

Ramsay sprach anno 1862 als erster die Ansicht aus, dass die Seebecken am Rande der Alpen durch Gletschererosion entstanden seien. Noch weiter ging Tyndall, der behauptete, die Täler der Alpen seien von Gletschern ausgehöhlt worden. Statt ihre Ansichten zu vereinigen, gerieten die beiden Forscher in eine Kontroverse, die von Whymper, dem bekannten Erstersteiger des Matterhorns, mit besonderer Aufmerksamkeit verfolgt wurde. Es ist heute noch von hohem Interesse, den darauf bezüglichen Abschnitt in Whympers „Berg- und Gletscherfahrten" nachzulesen (Seite 378—417). Das genannte Buch, in touristischer Hinsicht ein Monumentalwerk, enthält öfters auch für die Wissenschaft recht dienliche Notizen und beschäftigt sich in einem frühern Abschnitt (Seite 167—182) ebenfalls mit der Frage der Gletschererosion. Whymper selbst ist überzeugter Gegner der Theorie von der erodierenden Tätigkeit der Gletscher und sucht nachzuweisen, dass speziell das Aostatal unmöglich von Gletschern geschaffen worden sein könne.

Rütimeyer (Tal- und Seebildung, Basel, 1869) schrieb den Gletschern keine irgendwie erhebliche

Erosionstätigkeit zu und betrachtete ihre Wirkung als verschwindend gegenüber der Flusserosion. Überhaupt verhielten sich die schweizerischen Gelehrten gegenüber den Ansichten von Ramsay und Tyndall durchaus ablehnend. Heim lässt die Täler durch Flüsse geschaffen werden, erklärt die Stufen durch periodisch neubelebte Erosion, sieht in den Terrassen Reste alter Flusstalböden, die er zu Talbodensystemen kombiniert, und lässt die Seen durch ein Rücksinken des ganzen Alpengebirges entstehen. Längere Zeit hindurch hatten die Anhänger der Flusserosion das entschiedene Übergewicht, wozu das weitverbreitete und treffliche „Handbuch der Gletscherkunde“ von Heim nicht wenig beitrug. Die verbreitetsten Lehrbücher der Geologie schrieben den Gletschern in bezug auf den Untergrund geradezu erhaltende Wirkung zu. Verhältnismässig wenige Gelehrte, nach den genannten Engländern in erster Linie Penck, vertraten die Gletschererosion.

Heute ist ein Umschwung eingetreten, doch stehen sich die Ansichten immer noch schroff gegenüber. In diesem Streit werden oft sonderbare Gründe vorgebracht. So las ich neulich die ernstgemeinte Bemerkung, weil das Wasser eine Million mal schneller fliesse als das Eis des Gletschers, so müsse unter sonst gleichen Umständen auch die Erosion durch den Gletscher eine Million mal langsamer vor sich gehen.

Man könnte umgekehrt auch etwa so argumentieren: Ströme, Flüsse (sowohl akkumulierende als erodierende) können durch Dämme gebändigt, mit dem nötigen Kostenaufwand sogar Wildbäche verbaut werden, während ein Gletscher auch das stärkste von Menschenhand errichtete Werk spielend zerstören wird. Danach

zu schliessen, würde die Kraft des Flusses zu der des Gletschers in gar keinem Verhältnis stehen.

Bis vor wenigen Jahren war ich felsenfest davon überzeugt, dass die Flüsse weit wirksamer erodieren, als die Gletscher. Ich las vor ca. 15 Jahren zum ersten Mal den Aufsatz von Heim: „Über die Erosion im Gebiete der Reuss“ (Jahrbuch 1878 des S. A. C.). Im November 1891 hörte ich Professor Heim selbst in der Haupt-Versammlung der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft über Talbildung durch Flüsse und über die Entstehung der alpinen Randseen sprechen. Etwas später bekam ich seinen „Mechanismus der Gebirgsbildung“ in die Hand. Seither war ich überzeugter Anhänger der Rütimeyer-Heim'schen Theorie von der Talbildung durch Flüsse und wenn ich auf meinen Bergtouren irgendwo eine Terrasse sah, so witterte ich natürlich in ihr gleich den Rest eines alten Flusstalbodens. In einigen im übrigen rein touristischen Aufsätzen in den Jahrbüchern des S. A. C. habe ich gelegentlich auf solche alte Terrassen aufmerksam gemacht (Jahrbuch 1894, Seite 5/6, Val Mulix im Albulagebiet und Jahrbuch 1892, Seite 9, Vergaldnertal bei Gargellen).

Dennoch war mir nicht recht wohl bei der Sache. Was mich stets störte, das war die gewaltige Breite, welche der oberste Talboden einst haben musste, wenn man sich den durch Abtragung entstandenen Hohlraum wieder ausgefüllt dachte. Wie sollten relativ bescheidene Seitenbäche imstande gewesen sein, ebene Talböden von ein bis zwei Stunden Breite zu schaffen? Für die Haupttäler mochte die Erklärung plausibel vorkommen, aber die alpinen Nebentäler erweckten Zweifel. Nirgends

habe ich in einer Publikation meinen Bedenken Ausdruck gegeben, aber ich finde in meinen vor ca. 12 Jahren gemachten Notizen folgende Bemerkung: „Die drei in mancher Hinsicht einander so ähnlichen Hochflächen oberhalb Faschneida, südwestlich vom Kreuz, dann diejenige des obern Stelserberges gegen den Stelsersee hin und endlich diejenige über dem Landquartberg gegen Danusa hin stehen offenbar in einer bestimmten Beziehung zueinander, sie gehören dem gleichen Talbodensystem an. Aber wie einst bei den so schön korrespondierenden Terrassen des Rossberges und Schafberges im Vergaldnertal, so drängt sich mir auch hier (im Prätigau) ein Einwand störend auf. Es ist die gewaltige Breite, welche aus dem Zusammenhang dieser Hochflächen für den einstigen Talboden resultiert."

Ich versuchte dann eine Erklärung, die ich aber wohlweislich ebenfalls für mich behielt, da sie mich selbst nicht befriedigte. Gerade wegen des sich mir stets störend wieder aufdrängenden Einwandes der im Verhältnis zur Flussstärke unerklärlich grossen Breite des obersten Talbodens verlor ich auf meinen spätern Alpenwanderungen die Terrassenfrage aus den Augen, blieb aber Anhänger der Rütimeyer-Heim'schen Theorie und hielt den Betrag der Gletschererosion für eine quantité négligeable.

Im Laufe des letzten Jahres jedoch änderte sich meine Anschauung vollständig. Natürlich geschah dies nicht ohne Gründe, die auf in den vorhergehenden Jahren gemachten Beobachtungen beruhten. Es waren folgende Tatsachen, die meine frühere Überzeugung wankend machten:

1. Das häufige Vorkommen der Seelaffe und der Molassesandsteine überhaupt als erratisches Gestein;
2. die Breite des Hochtales von St. Gallen und seiner Fortsetzung gegen Gossau-Flawil-Uzwil;
3. die gänzlich davon abweichende Gestaltung der Täler der Sitter, der Goldach und der Steinach (von Espenmoos an abwärts);
4. der Deckenschotter auf Hohentannen und auf der Steinegg;
5. die Gestaltung der heutigen Gletschertäler in den höchsten Alpenketten, speziell die als Eisfälle oder Gletscherbrüche bezeichneten Stufen (Seracs).

Zu Punkt 1. Die Seelaffe (subalpiner Muschelsandstein), ein sehr zähes, grobkörniges bis nagelfluhartiges, auch in nur faustgrossen Stücken leicht erkennbares, der st. gallischen Meeresmolasse (helvetische Stufe) angehörendes Gestein mit zahlreichen Muscheltrümmern, findet sich erratisch ungemein häufig und strahlt von ihrer räumlich beschränkten Heimat (Staad-Martinsbrücke) radienartig aus, so dass sie von hier an für den Rheingletscher neben dem Puntaiglasgranit zum Leitgestein wird. Ihr so häufiges erratisches Vorkommen auch in den jüngsten Moränen kann unmöglich nur dem Wegräumen des an der Stelle des Anstehens vorhandenen Schuttes durch den Gletscher zugeschrieben werden; splitternde Erosion muss sich am anstehenden Untergrund geltend gemacht haben. Die gleiche Folgerung ergibt sich aus den im Erratikum der Umgebung von St. Gallen ungemein häufig vorkommenden Molassesandsteinen, die von dem gegen das Rheintal vorspringenden Appenzeller Molassesporn

stammen. Da der Rheingletscher diesen Sporn bedeckte, so können weder Seelaffe noch die übrigen Molassefindlinge als von Nunatakern stammende Obermoräne transportiert worden sein. Früh hat die erratische Verbreitung der Seelaffe in einem Kärtchen übersichtlich dargestellt (Jahresbericht 1894/95 der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft).

Zu Punkt 2. Zu der Breite des Hochtales von St. Gallen steht das kleine Flüsschen Steinach in keinem richtigen Verhältnis. Die noch breitere Fortsetzung nach Westen über Gossau und Flawil ist gar ein Trockental, dessen Entstehung mir rätselhaft erschien. Die Vorstellung, dass diese Täler durch Flüsse gebildet sein müssten, beherrschte mich vollständig. Wie schon bei Deicke musste bald die Sitter herhalten, bald die Urnäsch, bald beide zusammen. Ich hatte vollständig übersehen, dass selbst Heim, der erklärte Gegner der Gletschererosion, zugegeben hatte, dass manche Molassetäler durch die Gletscher eine Ausweitung erfahren haben. Über vage Vermutungen kam ich nicht hinaus. So ist denn auch in der von meinem Freunde Ch. Falkner und mir gemeinsam verfassten Arbeit über die Umgebung von St. Gallen die Erosion durch Gletscher nicht eingehender behandelt worden (Beiträge zur Geologie der Umgebung von St. Gallen, Jahrbuch 1902 und 1903 der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft). Erst die folgende Überlegung brachte mich auf eine andere Spur.

Zu Punkt 3. Wenn wir die Alpentäler selbst zum Entscheid darüber herbeiziehen, ob sie durch Flüsse oder aber durch Gletscher gebildet worden, so machen wir gleichsam in einem Prozesse den Zeugen zum

Richter. Wir müssen uns entweder an solche Täler halten, deren Gebiet stets eisfrei blieb, oder aber an solche, die sich seit der letzten Vergletscherung ein ganz frisches Bett eingeschnitten haben. In beiden Fällen werden wir erfahren, was für Formen durch reine Flusserosion entstehen. Für die Täler mit frischem nacheiszeitlichem Bett bietet uns die Umgebung von St. Gallen prächtige Beispiele (Sitter, Goldach, Steinach teilweise). Der Betrag der nacheiszeitlichen Erosion ist bei diesen Flüssen ansehnlich (70—120 m) nach der Tiefe, gering in der Breite. Selbst die etwas grössere, vom Säntis kommende und durch die Urnäsch verstärkte Sitter vermochte nicht, sich ein Bett von beträchtlicher Breite zu schaffen (grösste Breite ca. 500 m, gemessen nicht im Flussbett selbst, sondern als Entfernung der sich gegenüberliegenden Moränenkanten des unmittelbar nach der Eiszeit zusammenhängenden Plateaus Wittenbach-Bernhardzell). Die Täler sind am schmälsten in hartem Gestein (Sitter und Urnäsch in der Nagelfluhregion von Stocken und Kubel aufwärts, Goldach im Sandstein des Martinstobels, Steinach im Galgentobel teilweise); sie werden etwas weiter in den leichter zerstörbaren Mergeln (Sitter unterhalb Stocken bis Bischofzell, mit Serpentinenbildung, Goldach unterhalb des Martinstobels). Die Seitentäler münden ohne Stufen (Tiefenbach bei St. Josephen, Wattbach bei Zweibrücken), zeigen jedoch als Ganzes betrachtet, selbstverständlich etwas stärkeres Gefälle. Wenn alle die genannten Täler sich noch tiefer eingeschnitten haben werden, so muss ihr schluchtartiger Charakter noch mehr zur Geltung kommen. Die Seitenböschungen zeigen den Neigungswinkel, der sich für das betreffende

Gestein jeweilen erwarten lässt (unpassierbare Nagelfluhbänke, mauergleiche Sandsteinwände, sanfter geneigte Hänge in mergeligen und schieferigen Sandsteinen, sowie im eigentlichen Mergel und in der Moräne).

Nachdem mir einmal der Unterschied zwischen den alten breiten, verlassenen Molassetälern und den schlucht- und cannonartigen neuern, ganz sicher erst nach dem endgültigen Rückzug der Gletscher entstandenen Flusstälern in der Umgebung von St. Gallen so recht zum Bewusstsein gekommen war, musste sich mir die Überzeugung aufdrängen, dass das Hochtal von St. Gallen und seine westliche Fortsetzung gegen Wil ihre Entstehung den eiszeitlichen Gletschern verdanken. Dann war auch der Rückschluss auf glaziale Erosion in andern Gebieten und speziell in den Alpentälern unvermeidlich.

Zu Punkt 4. Der von Falkner und mir 1897 entdeckte, von Penck 1899 unabhängig ebenfalls aufgefundene, von Gutzwiller in den Eclogæ 1900 zuerst beschriebene Deckenschotter auf dem Tannenberg musste mir nun ebenfalls als Zeuge der nach seiner Ablagerung tätig gewesenen glazialen Erosion erscheinen.

Zu Punkt 5. Auf diesen hätte ich eigentlich zuerst eintreten sollen. Denn sobald mir die ersten ernstlichen Zweifel an der Allgewalt der Flusserosion aufstiegen, drängte sich mit Macht die Frage auf: Wenn die Gletschererosion gar so unbedeutend sein soll, wie die Verfechter der Flusserosion behaupten, wer hat denn die heutigen Gletschertäler geschaffen? Die Betten eines Aletsch- und Walliser Fieschergletschers, eines Glacier d'Argentière und Mer de Glace, um nur

einige zu nennen, müssen doch schon als wirkliche Täler bezeichnet werden, bei deren Entstehung Flusserosion ausgeschlossen war.

Auch die heutigen Gletscherbrüche (Eisfälle oder Seracs) wurden mir nach und nach zu Beweisen für eine wirksame Gletschererosion. Indirekt wurde ich darauf geführt und zwar durch die hohen Talstufen, welche wir in so vielen Alpentälern treffen, sowohl in solchen, deren Hintergrund heute noch reich vergletschert ist, als auch in jetzt fast oder ganz gletscherfreien. Ich nenne als Beispiele den Absturz unter der oberen Sandalp am Tödi, denjenigen unter dem Puntaiglasgletscher und den bewaldeten steilen Abbruch unter dem Piano di Preda Rossa am Monte della Disgrazia. Nirgends jedoch sind mir diese Talstufen mehr aufgefallen, als in der Adamellogruppe. Schon beim Aufstieg durch Val Stavél und bei der Wanderung von der Presanella über den Passo di Cercen zur Mandronhütte erregten die gewaltigen Stufen unser Staunen und der Blick auf die prachtvollen Eisfälle des Lobbia- und Mandrongletschers hätte eigentlich zu Reflexionen über die Beziehungen zwischen Gletscherbrüchen und heute eisfreien Talstufen reizen können. Aber es sollte noch besser kommen. Vom Adamello stiegen wir unter drohenden Eiswänden steil hinab in das unterhalb Edolo ins Tal des Oglio mündende Val Miller, das im übrigen wenige Schönheiten aufweist, aber im mittlern Teil in einer grandiosen Stufe abstürzt, die das Grossartigste ist, was ich in diesem Genre in den Alpen schon gesehen habe. Der Bach überwindet den Absturz in enger Schlucht, die so tief eingesägt ist, dass man, endlich unter dem hohen Abbruch stehend und den

Blick zurückwerfend, den weissen Gischt nur an zwei Stellen sieht. Hier erhält man, wie nirgends sonst, den Eindruck: Nie und nimmer hat dieser hohe und breite Absturz durch fluviatile Erosion geschaffen werden können. Denn hier konzentriert der Bach seine ganze Wirkung auf das Einsägen nach der Tiefe und ist bei dem grossen Gefälle ganz ausser Stande, nach der Seite zu erodieren. Die Überzeugung, dass solche Talstufen das Werk von Gletschern sind, muss sich aufdrängen, ganz besonders dann, wenn z. B. wie beim Piano di Preda Rossa über dem Absturz Schliffbuckel mit dahinter liegender topfebener Alluvialfläche sich finden.

In der Tat sind auch die Gefällsknickungen, welche von den heutigen Gletscherbrüchen überwunden werden, nichts anderes, als verkleinerte Ausgaben der riesigen alten Talstufen der eiszeitlichen Gletscher. Der Gefällsbruch des Untergrundes wird durch ungleich starke Gletschererosion bedingt, und bedingt dann seinerseits den Eisfall. Auch die Gletscherbrüche wandern rückwärts, wie die Stromschnellen. Gletscherbrüche oder Eisfälle treffen wir entweder über der Vereinigungsstelle zweier Gletscher oder aber da, wo die Firnmassen eines weiten Bassins convergieren. In beiden Fällen ist die Gletschererosion die Ursache. Vereinigen sich zwei Gletscher von ungleicher Stärke, z. B. ein Talgletscher und ein seitlicher Hängegletscher, so zeigt der schwächere über der Vereinigungsstelle den höhern Bruch. Der vereinigte Eisstrom erodiert eben stärker, als der schwächere Arm, der in der Bearbeitung und Austiefung seines Bettes zurückbleibt und nun die Höhendifferenz in einem Sturz überwinden muss. Der

Hauptgletscher zeigt in solchen Fällen oft nur eine unbedeutende Knickung, die aber der argen Zerschrundung wegen oft genügt, den Gletscher hier fast unpassierbar zu machen.

Auf intensiverer Erosion des Untergrundes durch die vereinigten Eismassen beruhen auch die häufigen und grossen Brüche zwischen weitem Firnbassin und schmälerem Gletscherstrom (Seracs du Géant, der Bruch am Walliser Fiescherfirn unter den Fiescherhörnern, das Labirinth am Piz Bernina etc.). Im Firnbassin vermag die Erosion nicht mehr Schritt zu halten mit der auf ein schmäleres Bett konzentrierten Tätigkeit des Gletscherstromes. Auch solche Brüche wandern rückwärts, aber langsamer als die erstgenannten und als die Brüche der eigentlichen Gletscherzungen. Die Eisbrüche böten Stoff für eine besondere Studie. Die Analogie mit den Stufenmündungen der alpinen Seitentäler drängt sich zwingend auf und lässt sie als weiteres Argument für Gletschererosion erscheinen.

Hier muss ich noch eine Stelle aus Rütimeyers Itinerar für die Tessiner Alpen (Jahrbuch IX des S. A. C., Seite 351) zitieren. Die Stufenmündungen der dortigen Seitentäler entgingen seinem Scharfblick selbstverständlich nicht, aber als ausgesprochener Anhänger der Wassererosion muss er sie auch entsprechend zu erklären suchen. Dennoch drängt sich die Eisarbeit selbst ihm förmlich auf, wie folgende Stelle beweist: „Alle die Klammen, durch welche die Seitentäler in das Haupttal münden, werden wohl mit einer sehr raschen Tieferlegung des letztern, der die Seitentäler nicht zu folgen vermochten, in Verbindung stehen. Erwägt man dabei, dass die Felsmassen, durch welche

sich die Klammen hindurchgesägt haben, meist die grossartigsten Spuren von Eispolitur an sich tragen, so drängt sich die Vermutung lebhaft auf, dass ein guter Teil dieser Arbeit aus einer Zeit herrühre, wo aus allen diesen Seitenschluchten Eisströme den grossen Gletschern der Haupttäler zuflossen.“ Wie nahe stand hier Rütimeyer der Theorie von der Gletschererosion!

Ich habe oben an teilweise unbedeutenden und wenig bekannten Beispielen gezeigt, wie sich meine Anschauungen änderten. Ich legte dies nicht dar, um daraus viel Wesens zu machen, sondern um zu beweisen, dass ich meine Überzeugung nicht ohne für mich schwerwiegende Gründe und persönliche Erfahrungen wechselte. Dennoch musste ich mich jedesmal wieder frisch wappnen, wenn ich den die Gletschererosion ablehnenden Abschnitt in Heims Handbuch der Gletscherkunde las. Schliesslich aber tröstete ich mich damit, dass selbst Heim kein so unbedingter Gegner der Eisarbeit ist, wie es den Anschein hat. Er anerkennt selbst, dass manche Molassetäler durch die Gletscher eine Ausweitung und Verbreiterung erfahren haben. Nun aber war der Flysch in so vielen Alpentälern gewiss fast so leicht zu erodieren, wie die Molassemergel und unbedingt leichter als Nagelfluh und harter Sandstein der Molasse. Ferner giebt Heim selbst für den fast 40 qkm grossen Unteraargletscher einen jährlichen Schlammtransport von ca. 6000 m^3 Gestein zu, was auf den qkm 150 m^3 ausmacht, während er für die fluviatile Erosion im Reussgebiet (Jahrbuch XIV des S. A. C., Die Erosion im Gebiet der Reuss) auf einen jährlichen Abtrag von 242 m^3 per qkm kommt. Das sind immerhin Zahlen, die sich denn doch noch

vergleichen lassen und noch nicht ein unbestrittenes Überwiegen der Flusserosion dartun.

Nachdem die so festgewurzelte Ansicht von der Allmacht der Flusserosion für mich endgültig gefallen war, sah ich manches in einem andern Lichte. Nie hatte ich mir zuvor recht vorstellen können, wie durch fliessendes Wasser die grossen breiten und gerade auf der Höhe mit sanftestem Gefälle verlaufenden Alpenpässe, wie Simplon, Lukmanier, Bernhardin, Albula, Julier, Maloja, Bernina etc. hätten geschaffen werden können. Die Erklärung durch glaziale Erosion ist viel einleuchtender. An solchen Stellen floss das hochgestaute Eis des einen Talgletschers über eine ursprünglich höhere und schmälere Lücke in das Gebiet eines andern Gletschers hinüber, der günstigere Abflussverhältnisse aufwies, in den Grenzketten also meistens nach Süden. Man könnte geradezu von passbildenden, passüberschreitenden oder Jochgletschern reden, doch ist die von Penck und Brückner gewählte Bezeichnung „Bifurkation“ passend.

Auch die Talablenkungen sind nur durch solche Gletscher-Bifurkationen zwischen Tälern mit sehr ungleichem Gefälle zu erklären. Zu den bekanntesten gehören die meines Wissens zuerst von Heim namhaft gemachten Ablenkungen des Innquellgebietes nach dem Bergell und des Schlappin-Silvrettagebietes vom ehemals längern Davosertal nach dem Prätigau. Ähnliche kleinere Beispiele: Schraubach-Aschüel-St. Antönien im Prätigau und Val Carasina bei Olivone, womit die Entstehung des merkwürdigen Berges Sosto zusammenhängt. Hätte die Eiszeit länger gedauert, so wäre es auch zwischen Val Bever und dem Albulatal zu einer

Ablenkung gekommen und zwar durch die Tieferlegung der auffallenden Fuorcla da Bever-Crapalv, deren bis weit über die tiefste Einsenkung hinauf von Gletschern geglättete Lücke ich vor ca. 10 Jahren mit E. Imhof, meinem Freunde und Genossen auf so mancher fröhlichen Bergfahrt, besuchte.

Die Wassererosion genügt absolut nicht zur Erklärung der Talablenkungen, sonst müsste die Nolla das Safiental schon längst angeschnitten und abgelenkt haben. Der Gletscher ist überhaupt gegenüber dem fliessenden Wasser in gewaltigem Vorteil, da er schon in höhern Regionen wirksam erodiert sowohl nach Breite als nach Tiefe, während der Bach bei grösserem Gefälle in hartem Gestein nur enge Schluchten zu schaffen vermag und zudem nach rückwärts sich verzweigend für die einzelnen Äste nur ein kleines Sammelgebiet aufweist. Wenn man überdies sieht, dass selbst starke Bäche in den Alpentälern in den vielen tausend Jahren seit dem Rückzug der Gletscher sich nur wenige Meter tief in das noch die schönsten Schliffe zeigende Gestein eingeschnitten haben, so wird man zwar deswegen die fluviatile Erosion nicht gering achten, aber auch nicht mehr überschätzen.

Immer mehr komme ich dazu, die Behauptung abzulehnen, dass die grossen Formen alle präglazial seien. Der tektonischen Vorbedingung ist allerdings ein massgebender Einfluss einzuräumen, im übrigen aber hat wesentlich die glaziale Erosion das Relief herausgearbeitet. Auch die grossen Bergformen sind durch Mitwirkung der Gletscher entstanden. Umsonst sind alle Versuche, die Gipfelformen (von sekundären Türmen, Zacken etc. sehe ich hier ab) nur durch Ge-

steinsbeschaffenheit, Tektonik, Klüftung, trockene Abwitterung und Bacherosion zu erklären. Die so auffallende Gipfelreihe der Churfirsten, herausgearbeitet aus einer schiefen Platte von Schichten des Kreidesystems, erscheint mir jetzt als das Resultat der Tätigkeit erodierender Hängegletscher, welche die Nischen zwischen den Gipfeln bildeten. Bacherosion ist hier ausgeschlossen. Bäche bilden bei solchem Gefälle nicht so breite Schluchten, wenigstens nicht in hartem Gestein. Überdies fehlt die Fortsetzung der Wasserläufe nach unten.

Auf ähnliche Art ist die Nordseite der mächtigen Drusenfluh im Rhätikon von mehreren teilweise jetzt noch gletschererfüllten Karen durchzogen.

Gehen wir ins eigentliche Hochgebirge. Als wir auf der herrlichen Aiguille d'Argentière standen, da ruhte mein Blick immer und immer wieder auf dem steilen Hängegletscher, welcher in prächtig geschwungener Curve, beidseitig von gigantischen Conterforts eingeschlossen, vom höchsten Gipfel sich hinabzieht bis zum Glacier d'Argentière, auf den er in Stufenform nach Bildung eines Gletscherbruches mündet. Das Bett dieses Hängegletschers ist eines der gewaltigsten und zugleich elegantesten Gletscherkare der Alpen und kann nur vom Gletscher selbst erodiert worden sein. Westlich davon, wo der gewöhnliche Aufstieg vom Glacier du Chardonnet abzweigt, ist eine ähnliche, aber kleinere Nische in der Bildung begriffen.

Das Matterhorn ragte zu jener Zeit, als die Vergletscherung der Alpen noch mehr plateauartigen Charakter hatte, als vielleicht nicht sehr hoher Nunataker aus dem Eise hervor. Die packende Wirkung des einzig-

artigen Berges beruht teilweise darauf, dass die Schartung sowohl nach Westen als nach Osten über 1000 m beträgt. Wir haben uns vorzustellen, dass in einem frühen Stadium der noch hochstehenden Vergletscherungen hier auf beiden Seiten Bifurkationen im Sinne des Abfliessens nach der italienischen Seite stattfanden.

Den Haupttälern der Alpen mochte wohl der spätere Verlauf durch tektonische Verhältnisse in grossen Umrissen angewiesen sein. Wassererosion kann nur zu jener Zeit vorbedingend gewirkt haben, als das Gebirge noch nicht über die Schneegrenze gehoben war. Nach erfolgter Hebung wurde der Verlauf der Täler ganz wesentlich durch die Gletscher bestimmt. Vielleicht spielte hier auch die Exposition eine Rolle. Die nach Norden sich senkenden Hänge weiter flacher Mulden liessen die Gletscher zu mächtigerer Entwicklung gelangen, als die nach Süden geneigten Hänge, deren Gletscher von den aus Süden kommenden stärkern Konkurrenten gestaut und abgedrängt wurden. So dürfte der auffallende Umstand zu erklären sein, dass die grossen Längstäler der Alpen, das Wallis, das bündnerische Rheintal, die Täler des Inn, der Salzach und Enns ihre längern und stärkern Zuflüsse von der Südseite erhalten, während die nördlichen Seitentäler nur kurz und wenig entwickelt sind. Die Täler der Dora Baltea und der Adda, in welchen dies Verhältnis nicht zu treffen ist, sind kein Gegenbeweis, denn hier waren die nördlichen Gebirgsketten wohl von jeher bedeutend höher und zur Entfaltung bedeutender Gletscher geeigneter als die südlichen.

Gipfel, Pässe und Täler sind durch glaziale Erosion viel leichter zu erklären, als durch fluviatile Erosion.

Es läge nahe, hier nochmals auf die Talbildung einzutreten und speziell die beckenförmigen Talweitungen und die Talengen des bündnerischen Rheingebietes noch etwas weiter zu verfolgen, als es Penck in seinem Abschnitt über das Nährgebiet des Rheingletschers getan hat (Penck und Brückner, Die Alpen im Eiszeitalter, Seite 427—440). Ich beschränke mich indessen auf etliche Bemerkungen über das Prätigau.

Die Talweitungen, mitbedingt durch die dem Talgletscher aus den recht bedeutenden Seitentälern zufliessenden Gletscher, finden sich im Prätigau in ausgezeichneter Weise (Vorder-, Mittel- und Hinterprätigau). Die entsprechenden Talengen sind die Clus, der Fuchsenwinkel und die Enge zwischen Fiderisau und Dalfazza. Die grössern Seitentäler münden, da das Einschneiden im weichen Schiefer rasch vor sich geht, schon jetzt nicht mehr stufenförmig in das Haupttal. Was das Befremden Pencks über die Riegelmündung des Prätigaus, die Clus anbelangt (Seite 431), so ist zu bemerken, dass das dortige Gestein ausserordentlich fest und hart ist (am besten wohl als Kalkschiefer, stellenweise fast als dünnbankiger Kalksandstein zu bezeichnen). Der dortige Steinbruch liefert unvergleichlich besseres Material, als die Brüche bei Grüsch und Schiers. Ferner zeigt die Felspartie über der Ruine Fragstein den grössten Überhang, der mir überhaupt aus eigener Anschauung bekannt ist und spricht für sich allein genügend für die Festigkeit des Gesteins. Damit steht auch die Bildung des bewaldeten vorragenden Felsriffs (Mannas 1162 m) südlich vom Wege nach Fadära im Zusammenhang. Wir haben hier ein sehr schönes Beispiel für die Rippung in Verbindung mit Riegelmündung.

Die Mitteilung von Rothpletz, dass die Flanken des Prätigaus reichlich mit Moränen (und Schottern) bekleidet seien, kann ich bestätigen. Ich glaube auch, in der Clus, wo Rothpletz Moränen getroffen hat, Gletscherschliffe gesehen zu haben.

Über die Art und Weise, wie die Gletscher erodieren, wären trotz der verdienstlichen neuern Arbeiten weitere Aufschlüsse erwünscht. Es sei mir hier die Vermutung gestattet, dass den Gletschermühlen namentlich bei und über den Gefällsknickungen, wo Spalten auftreten, eine bedeutendere Rolle beim Erosionsvorgang zukommt, als man allgemein annimmt. Tarnuzzer beschreibt im Jahresbericht 1895/96 der Naturforschenden Gesellschaft Graubündens die Gletschermühlen auf Maloja und bringt bei Besprechung der Mary Bancroft-Mühle folgende beachtenswerte Notiz: „Rechts daneben trifft man eine weitere Mühle, die nach Steffens zu Nr. 2 gehörte und nur das oberste Stück von ihr bildete. Man hat sich vorzustellen, dass der ganze obere Felsen von seiner Stelle gerückt wurde, trotzdem man meinen könnte, hier zwei selbständige Mühlen vor sich zu haben.“

Diese Mitteilung lässt die Frage auftauchen, ob nicht gerade durch die Gletschermühlen dem Gletscher an manchen Orten die Angriffspunkte für splitternde Erosion in grösserem Massstabe geschaffen wurden.

Ein Hauptargument gegen die erodierende Gletschertätigkeit, schon von Whymper mit aller Schärfe hervorgehoben, bildeten von jeher die rauhen, oft eckige Bruchflächen zeigenden Leeseiten der Rundhöcker. Sie sollten geradezu den Beweis leisten, dass es dem Gletscher während einer ganzen Eiszeit nicht einmal

gelungen sei, diese rauhen Flächen zu glätten, bezw. den Rundhöcker vollständig abzuhobeln.

Dieser Punkt ist auch heute noch nicht völlig aufgeklärt. Freunde und Gegner sind darin einig, dass in jenem Moment, als die Stossseite geglättet wurde, die Leeseite vom Gletscher nicht berührt wurde. Jedoch ist es vielleicht gerade deswegen denkbar, dass an der Leeseite, die von Schmelzwasser überschwemmt wurde, häufig Frostwirkungen eintraten. Man könnte sich ferner fragen, ob nicht bei dem gewaltigen Drucke das Gestein im Innern derart beansprucht wurde, dass an der einzig freien Leeseite eine Wirkung eintrat, die an das „Aufblättern“ von aus grosser Tiefe kommenden Steinkohlen oder an das plötzliche Abspringen scheibenförmiger Felsbrocken von den Wänden des Simplontunnels erinnert.

Nachdem die glaziale Erosion für mich als Tatsache feststand, nahm ich, erst im Februar 1906, das oben erwähnte Werk „Die Alpen im Eiszeitalter“ von Penck und Brückner zur Hand. Zwar will ich keineswegs behaupten, dass ich nicht schon vorher von diesem grossen und bedeutenden Werke beeinflusst worden sei. Werke wie das genannte, oder wie „Das Antlitz der Erde“ von Suess oder „Der Mechanismus der Gebirgsbildung“ von Heim bleiben nicht ohne Einfluss auch auf den, der sie nicht selbst studiert hat. Dafür sorgen schon Rezensionen, Citate in Einzelaufsätzen, Vorträge usw. Das Studium einer solchen gewaltigen Arbeit bietet jedoch stets neue Anregungen und Gesichtspunkte.

Zu gleicher Zeit las ich auch zum erstenmal „Die Gletscher“ von Hess. Das Werk verrät sofort den

Anhänger einer intensiven Glazialerosion, nimmt aber eine durchaus selbständige und in mehrfacher Hinsicht von Penck und Brückner abweichende Stellung ein. Hess hat namentlich von der präglazialen Gebirgsoberfläche eine ganz andere Vorstellung als die beiden anderen Forscher. Unbeeinflusst bin ich in dieser Beziehung fast zu der nämlichen Auffassung gelangt wie Hess. Sehr interessant und durchaus nicht von der Hand zu weisen ist sein mir neues System der Taltröge und Trogränder, und es erscheint mir diese Frage weiteren Studiums wert. Hätte Hess seine Auffassung der präglazialen Gebirgsoberfläche als plateauartiges, nur von flachen Mulden durchzogenes Denudationsniveau (Peneplain) mit der nämlichen Konsequenz verfolgt, wie die Trogränder, so hätte er dazu kommen müssen, die allzu niedrigen eiszeitlichen Schneegrenzen von Penck und Brückner anzufechten. Es ist hier noch einmal auf die Terrassen und die Talbildung überhaupt zurückzukommen.

Penck und Brückner (Seite 606—618) haben nur zwei alte Talböden rekonstruieren können, welche mit den Talbodensystemen Rütimeyers, Heims und Bodmers nicht übereinstimmen, sondern sie schneiden. Doch scheinen auch die beiden Talbodensysteme von Penck und Brückner teilweise noch zweifelhaft zu sein. Das ältere, das durch die Breite und Ausdehnung der ihm angehörenden Terrassen dominiert, betrachten sie als den unwesentlich erniedrigten präglazialen Talboden, der mit ausgeglichenem Gefälle aus dem Innern der Alpen bis zur subalpinen präglazialen Molasse-Rumpfebene sich erstreckt haben soll. Der Querschnitt soll nicht eine horizontale, sondern eine der Form eines

flach durchhängenden Seiles entsprechende Basis gehabt haben. Diese präglaziale Taloberfläche soll durch langfortgesetzte Wirkung des fliessenden Wassers entstanden sein. Für Zermatt z. B. wäre der alte Talboden in etwa 2100 m Höhe zu suchen, zwischen Täsch und Randa in 1800—1900 m, bei St. Niklaus in 1500 m, bei Stalden in 1300—1400 m, bei Visp in 1200—1300 m Meereshöhe.

Es fällt mir schwer, an die Realität eines so gestalteten und so entstandenen präglazialen Talbodens zu glauben. Da wären mir die breiten ebenen Talböden Heims noch weit erklärlicher, trotz der geäusserten schweren Bedenken. Ein Talboden, über den nach den beiden Autoren vier Vergletscherungen hinweggegangen sein sollen, kann doch nicht präglazial genannt werden, man müsste denn die glaziale Erosion als geradezu verschwindend gering annehmen, was doch zu dem ganzen Beobachtungs- und Gedankengang des Penck-Brückner'schen Werkes nicht passt. Ähnlich wie Hess bin ich zu der Ansicht gekommen, dass der präglaziale Talboden, sofern man von einem solchen reden kann, viel höher liegen musste. Entweder gibt es eine Gletschererosion und dann ist sie bedeutend, oder es gibt keine.

Nehmen wir aber vorläufig für das Tal von Zermatt einen präglazialen Talboden an, der nur wenig höher zu sein braucht, als der Penck-Brückner'sche, so erhalten wir beim Eintritt der Eiszeit, ohne dass wir an eine Änderung der klimatischen Verhältnisse zu denken brauchen, etwa folgendes Bild:

Der Gornergletscher wird nicht an der heutigen

Stelle (ca. 1840 m) endigen, sondern über den mehr als 2100 m hochgelegenen präglazialen Talboden von Zermatt weiter nach Norden fliessen. Mit ihm werden sich Zmutt- und Findelengletscher vereinigen und der gesammelte mächtige Eisstrom wird im Nicolaital so weit vordringen und zugleich so hoch anschwellen, dass Hohlicht- und Biesgletscher sich noch mit ihm vereinigen können. Der Eisstrom wird dann mächtig genug sein, um so weit vorzudringen, dass von der rechten Seite auch noch der grosse Riedgletscher aufgenommen werden kann.

Wir dürfen jedoch unbedenklich den präglazialen Talboden noch merklich höher annehmen und sind dann sicher, dass unser Gletscher noch weiter, bis in die Gegend über dem heutigen Stalden, ja bis ins Rhonetal hinausreichen wird, ohne dass wir nötig hätten, eine Temperaturerniedrigung anzunehmen, ausgenommen diejenige, die sich aus der höhern Lage der Talsohle, beziehungsweise der Gletscheroberfläche von selbst ergibt. Unser Gletscher wird auch die Eiszuflüsse von den Mischabelhörnern aufzunehmen vermögen. Ähnlich werden sich die Verhältnisse im Saastal gestalten und der mächtige Eisstrom wird nach der hoch über dem heutigen Stalden erfolgten Vereinigung von Nicolai- und Saasgletscher nicht nur bis ins Rhonetal vorstossen, sondern durch letzteres auch noch eine Strecke weit talauswärts fliessen.

Dies mag genügen, um darzutun, warum ich mir einen durch Wasser gebildeten präglazialen Talboden nach Art desjenigen von Penck und Brückner nicht vorstellen kann. Die Höhenlage des Talbodens in Ver-

bindung mit dem ausgedehnten Firngebiet, bezw. der reichen Vergletscherung des Talhintergrundes schliesst eine Entstehung durch Wassererosion aus.

Aber auch mit der Darstellung, die Hess in seinem Werke „Die Gletscher", Seite 366, gibt, kann ich mich durchaus nicht einverstanden erklären. Hess denkt sich nach der ersten Vergletscherung eine Periode, in welcher die Alpen bis zu demselben Grade oder noch mehr eisfrei waren wie gegenwärtig und in welcher die Wassererosion bis in die hintersten Winkel der Täler neue Schluchten im Fels bildete, worauf dann die zweite Vergletscherung gefolgt wäre usw.

Diese Vorstellung erscheint mir unhaltbar. Da Hess einen präglazialen Talboden annimmt, der noch höher als die oberste Schliffgrenze lag, so musste dieser Talboden nach der ersten Vergletscherung immer noch eine solche Höhe aufweisen, dass in der ungefähr das heutige Klima aufweisenden Interglazialzeit von einer Wassererosion in den damaligen Tälern der höhern Alpengruppen keine Rede sein konnte. Sie mussten vereist bleiben und zwar auf gewaltig grosse Distanzen. Die bleibende Vereisung war bedingt durch das in dem noch weniger tief erodierten Gebirge sehr ausgedehnte Firngebiet und durch die tiefere Temperatur, die in der Höhe des alten Talbodens, resp. auf der noch beträchtlich höhern Gletscheroberfläche herrschte (Abnahme nach der Höhe 1° C. auf je 170 m). Wir brauchen gar nicht an Klimaänderungen im Sinne der Abwechslung zwischen kälteren, feuchteren Vergletscherungsperioden und wärmeren Interglazialzeiten zu denken. Wir werden viel-

mehr zu dem Resultat kommen, dass es Interglazialzeiten in diesem Sinne gar nicht geben konnte, es wäre denn, dass man das Klima der Interglazialzeiten bedeutend wärmer annähme, als das heutige.

Wir müssen uns überhaupt von der Vorstellung freimachen, als ob die Eiszeit etwas ganz Exceptionelles, ausser der gewöhnlichen Ordnung Stehendes gewesen sei und als ob sie nur durch eine allgemein terrestrische Klimaänderung erklärt werden könne. Diese Vorstellung kann unser Urteil nur befangen machen. Für die Temperaturerniedrigung bietet die höhere Lage des Talbodens in dem überhaupt noch massigern, nicht durch tiefe Täler zerschnittenen Gebirge die genügende Erklärung.

Versetzen wir uns einen Augenblick in das Tal von Chamonix und denken wir uns den Talboden rekonstruiert in jener Höhe, welche über der steilen Waldregion auf der linken Talseite durch die flacheren Alpweiden angedeutet ist. Sofort wird uns klar, dass die grossen Talgletscher von Argentière, Bois (Mer de Glace), Bossons und Tacconnaz, von denen einzelne jetzt noch bis auf 1100 m Meereshöhe hinabreichen, sich zu einem imposanten Eisstrom von mehreren hundert Metern Dicke vereinigen werden, der weit talauswärts, vielleicht über Cluses hinaus sich erstrecken wird und schon stark an die eiszeitlichen Verhältnisse erinnert. Das ergibt sich alles ohne allgemeine Klimaschwankung einfach durch die Höherlage des einstigen Talbodens und die damit verbundene lokale Temperaturerniedrigung, zu welcher auch die beträchtliche Dicke des Eisstromes beiträgt.

Es ist nicht nötig, ähnliche Beispiele aus den

Berner Alpen, der Bernina- und Ortlergruppe etc. herbeizuziehen. Kehren wir wieder ins Rhonetal zurück. In der folgenden Ausführung gilt es, wie schon betont, die Eiszeit nicht als ein ganz ausserordentliches, fremdartiges Ereignis aufzufassen. Insbesondere gehört es auch zur voraussetzungslosen Wissenschaft, die Vorstellung fallen zu lassen, es sei der Rückzug der eiszeitlichen Gletscher nur durch Eintritt eines wärmeren Klimas zu erklären.

Denken wir uns das Rhonetal durch das erodierte Material wieder aufgefüllt bis zu einer gewissen Höhe, die wir, um die Sache etwas augenfälliger zu machen, etwas höher annehmen wollen als den präglazialen Talboden von Penck und Brückner. Was wir im Tale von Zermatt und Saas eintreten sahen, wird auch in den andern Seitentälern und im Hintergrunde des Haupttales vor sich gehen. Der Rhonegletscher (im engern Sinn) wird, verstärkt durch Seitengletscher, durch das Oberwallis bis zur Vereinigung mit Fiescher- und Aletschgletscher vordringen, da ja die drei genannten Gletscher heute noch viel tiefer endigen, als wir uns den aufgefüllten Talboden denken. Aus Zermatt-, Saas-, Turtmann-, Einfisch- und Lötschental, aus Val d'Hérens, Val de Bagnes, d'Entremont und Ferret langen gewaltige Verstärkungen an, der kleinen Seitengletscher nicht zu gedenken. Die enorme Eismasse ist zu mächtig, um im Wallis abschmelzen zu können, sie ist gezwungen, ins Molassevorland hinauszutreten und sich dort zu verbreitern. Wir haben jetzt nichts anderes vor uns, als den eiszeitlichen Rhonegletscher.

Wir haben ihn erhalten ohne ein die ganze Erde oder auch nur eine Halbkugel betreffendes Kälter-

werden des Klimas, einzig durch den viel höhern Talboden und die damit eintretende Folgeerscheinung (Temperaturerniedrigung je 1° C. für 170 m Höhendifferenz).

Bei einem etwas höher angenommenen Talboden können wir uns auch die andern grossen eiszeitlichen Talgletscher des Alpengebietes auf ähnliche Weise rekonstruiert denken.

Nach Brückner betrug die Mächtigkeit des Eises bei Brig im Rhonetal nahezu 2000 m. Die Eisoberfläche musste also noch damals, als das Tal fast bis in die Tiefe des heutigen Brig erodiert war, eine Meereshöhe von ca. 2600 m erreichen. Die mittlere Jahrestemperatur für das ca. 700 m hochgelegene Brig wird ungefähr 8° C. betragen — eine genaue Zahl steht mir momentan nicht zur Verfügung. Demnach hätte auf der Gletscheroberfläche senkrecht über Brig eine mittlere Jahrestemperatur von ca. —3° C. herrschen müssen. (Differenz ca. 11°.) Für Martigny ergibt sich bei 1530 m Eismächtigkeit eine gegenüber der heutigen um 9° niedrige Temperatur auf der Gletscheroberfläche. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Eismächtigkeit im Rhonetal ganz ausserordentliche Werte erreichte. (Penck und Brückner, Seite 607.)

Bekanntlich ist schon von mehreren Forschern die Ansicht ausgesprochen worden, dass eine Erniedrigung der heutigen Jahrestemperatur um nur 4° wieder eine Eiszeit zur Folge hätte, was hier keineswegs bestritten werden soll. Es müsste aber eine interessante, nicht sehr schwierige, aber recht mühsame Aufgabe sein, für einen bestimmten Gletscherstand der Eiszeit, z. B. für die Zeit, als die Gletscheroberfläche ungefähr die

Höhe der jetzt noch zu verfolgenden Schliffgrenze erreichte, die mittlere Jahrestemperatur zu berechnen und mit der heutigen zu vergleichen. Die Differenz, bedingt durch die damalige Höhe der Gletscheroberfläche, würde vermutlich den erforderlichen 4° nahekommen, und sollte es für den erwähnten Gletscherstand nicht der Fall sein, so doch sicher für einen auf einem noch ältern und höhern Talboden.

Wir können uns die Sache auch noch anders zurecht legen. Denken wir uns das ganze heutige Alpengebirge um einen bestimmten Betrag, z. B. um 500 m gehoben, so wird sicher eine gewaltige Zunahme der Vergletscherung eintreten. Das leuchtet ohne weitere Diskussion ein. Ein ähnliches Resultat erhalten wir aber auch, wenn wir die Gipfelkämme der Alpen in ihrer heutigen Höhe belassen, die Täler dagegen mit dem erodierten Material wieder aufgefüllt denken. Vergrösserung der Firnregion, Abnahme der Temperatur nach der Höhe der aufgefüllt gedachten Gebirgsteile wird die Folge sein und beide Faktoren werden ihrerseits eine bedeutende Zunahme der Vergletscherung bedingen.

Wir haben unsern eiszeitlichen Rhonegletscher ohne Inanspruchnahme eines plötzlich kälter werdenden Klimas erhalten, und es gilt nun, ihn auch ohne Eintritt einer wärmern Periode wieder fortzuschaffen. Die erodierende Tätigkeit des Gletschers macht dies möglich. Der Gletscher selbst gräbt sich sein Grab. Sowohl in seinem Nährgebiet in den Alpen als auch in seinem Ausbreitungsgebiet im Vorlande erniedrigt er beständig sein Felsenbett, vertieft es immer mehr und mehr und bewirkt so, dass auch die Gletscher-

oberfläche in immer tiefere und wärmere Luftregionen sinkt. Dieser Prozess geht so lange vor sich, bis endlich die Abschmelzung im Zungengebiet den Zuwachs im Nährgebiet übersteigt, worauf der Rückzug, das Schwinden des Gletschers beginnt, das allerdings durch Schwankungen temporär unterbrochen wird, aber nicht mehr für längere Zeit aufgehalten werden kann und von dem grossen eiszeitlichen Gletscher nur noch die verhältnismässig armseligen Reste übriglässt, die wir noch heute in den Alpen sehen. — Entsprechend haben wir uns den Vorgang bei den andern eiszeitlichen Gletschern zu denken.

Der Gedankengang wird nun ziemlich klar sein. Die Ursachen der Eiszeit drängen sich jetzt von selbst auf und ich kann mich nunmehr kurz fassen.

Zur Erklärung der Eiszeit in den Alpen ist weder eine kosmische noch eine überall gleichzeitig auftretende terrestrische Ursache notwendig, also auch nicht ein allgemein kälteres Erdklima, als das heutige es ist. Die Eiszeit war bedingt durch die früher viel massigere Gestalt des Alpengebirges, das noch nicht durch lange und tief eingeschnittene Täler gegliedert war. Dementsprechend war die Firnregion viel ausgedehnter und die Temperatur an der Oberfläche der noch nicht erodierten Gebirgsteile (hoch über den heutigen Tälern) bedeutend niedriger. Beide Faktoren vereint bewirkten die enorme eiszeitliche Vergletscherung. Der Rückzug war bedingt durch die erodierende Tätigkeit der Gletscher, durch welche

Gletscherbett und Gletscheroberfläche in immer tiefere und wärmere Regionen verlegt wurden bei gleichzeitiger Verkleinerung des Firngebietes. Auch Änderungen der Niederschlagsverhältnisse, veranlasst durch Krustenbewegungen, können sowohl beim Eintritt als beim Rückzug der Vergletscherung von Einfluss gewesen sein. Die Eiszeit ist also kein fremdartiges Naturereignis, sondern fügt sich mit Notwendigkeit in den Rahmen erkannter Gesetze und beobachteter Tatsachen ein.

Ist diese Anschauung richtig, so verliert die Eiszeit den Charakter eines bestimmten geologischen Zeitabschnittes und erscheint als ein Ereignis, das nicht nur in der quartären, sondern auch in der tertiären Epoche in jedem Gebirge eintreten konnte und eintreten musste, sofern gewisse Bedingungen erfüllt waren. Eine Änderung des Klimas auf der ganzen Erde war dabei ausgeschlossen.

Nichts hindert uns, an Eiszeiten im Pliocen, Miocen und Eocen (für letztere liegen bekanntlich Anzeichen vor) zu denken. Selbst für frühere geologische Zeitalter mit ihrem bedeutend wärmeren Klima sind Eiszeiten denkbar, wenn wir Gebirge von bedeutender Höhe mit beträchtlichen Niederschlagsmengen voraussetzen. Die permo-karbonische Eiszeit in Südafrika, auf welche das Dwyka-Konglomerat hinweist, die aber immerhin noch nicht sicher festgestellt ist, schiene dann nicht mehr so auffällig.

Das gleichzeitige Auftreten von Vergletscherungen erscheint nach der obigen Auffassung keineswegs er-

forderlich. Jedes vergletscherte Gebirge erscheint mit Bezug auf seine Eiszeit als Individuum mit besonderer Entwicklung. Grönland steckt mitten in der Eiszeit, Skandinavien hat den Höhepunkt schon lange überschritten, in den Alpen nähert sich die Eiszeit ihrem Ende, der Schwarzwald und Schottland haben sie längst hinter sich. Die quartären wie die früheren Eiszeiten fallen unter das höhere Gesetz:

Jedes an Niederschlägen nicht zu arme Gebirge, dessen Höhe oder geographische Breite durch Temperaturabnahme nach der Höhe oder nach den Polen (oder durch beide zusammen) es mit sich brachte, dass die Sommerwärme den gefallenen Schnee nicht zu schmelzen vermochte, musste in eine Eiszeit eintreten, deren Dimensionen nach Fläche und Dauer von den genannten drei Faktoren, sowie von der Gestalt des Gebirges abhingen. Die Gletscher selbst führten durch Tieferlegung des Bettes (Talbildung) das Ende der Eiszeit herbei. Eine allgemeine Änderung des Klimas ist weder für den Eintritt, noch für das Ende einer Eiszeit erforderlich. Dagegen konnten lokale Klimaänderungen, veranlasst durch andere Verteilung von Land und Wasser, von Einfluss sein. Gleichzeitiges Auftreten von Vergletscherung in zahlreichen Gebirgen ist möglich, aber nicht notwendig. Periodische, die ganze Erde betreffende Wiederholungen sind zu verneinen.

In die Tertiärzeit fällt die Entstehung der heutigen

Hochgebirge, der Alpen, Pyrenäen, des Kaukasus, des Himalaya und der Cordilleren. Ebenfalls in der Tertiärzeit vollzog sich die Herausbildung der heutigen Klimazonen. Damit waren die Bedingungen für eine besonders reiche Entfaltung der Vergletscherungen gegeben und es mag daher begreiflich und gerechtfertigt erscheinen, dass dem Quartär geradezu der Name Eiszeit zugelegt wurde, obwohl die Vereisung der genannten Gebirge gewiss schon im Pliocen begonnen hatte.

Nach meiner Auffassung genügen die präglaziale Gebirgsgestalt, die glaziale Erosion und Änderungen der Niederschlagsmengen vollkommen zur Erklärung der Eiszeit. Für den Rückzug der Vergletscherung in den Alpen möchte ich der Glazialerosion das Hauptgewicht beimessen.

Auch die skandinavisch-finnische und die nordamerikanische Vereisung müssen von den erwähnten Gesichtspunkten aus erklärt werden können, was für die erstgenannte scheinbar fast schwieriger hält, als für die amerikanische. Die Vereisung hat in Skandinavien und Finnland jedenfalls schon lange Zeit vor der Hebung der oben erwähnten Kettengebirge begonnen. Ob Cambrium und Silur, welche den archäischen Gesteinen des baltischen Schildes an einigen Stellen noch aufliegen, einst das ganze Gebiet bedeckten, darüber steht mir kein Urteil zu; jedenfalls aber nimmt man an, dass die Denudation, der das Land seit undenklichen Zeiten preisgegeben war, es schon um etliche hundert Meter erniedrigt hat. Wir dürfen den Hauptteil der Abtragung dem Eise zuschreiben. Nehmen wir, von Hebungen und Senkungen einstweilen ganz absehend, die heutige Höhe der Landmassen,

setzen noch den erodierten Betrag dazu und denken uns darüber eine Eisdecke von jedenfalls sehr bedeutender Mächtigkeit, so erhalten wir für die nordeuropäische Vereisung ein die Schneegrenze übersteigendes Areal, d. h. ein Nährgebiet von solcher Grösse, dass uns auch das bis in die norddeutsche Tiefebene reichende Verbreitungs- oder Abschmelzungsgebiet durch seine Ausdehnung nicht mehr so sehr befremden kann. Die alpine eiszeitliche Vergletscherung erscheint räumlich sehr bescheiden im Vergleich mit der nordischen.

Der Anhänger der Gletschererosion muss natürlich auch die Fjorde auf Eiswirkung zurückführen, um so mehr, als sie geradezu an vergletscherte Landmassen gebunden sind.

Kehren wir noch einmal zu den Alpen zurück. Wenn eine Änderung des Klimas bei Eintritt und Ende der Eiszeit nicht für nötig erachtet wurde, so ist damit noch nicht gesagt, dass eine solche für das Gebirge und sein Vorland nicht doch eingetreten sei. Eine so enorme Vergletscherung konnte nicht ohne Einfluss auf das Klima bleiben. Die Niederschläge waren wohl am Alpenrande besonders gross — der Säntis mit jährca. 2200 mm ist jetzt noch ein Zeuge dafür. Für den Alpenrand resultierte daraus eine Herabsetzung der Schneegrenze. Wie es mit dem für die Schneeschmelze so wichtigen Föhn zu jener Zeit stand, als die tiefen Talfurchen noch nicht existierten, entzieht sich meiner Mutmassung.

Indessen erscheinen mir doch die von Penck und Brückner für die eiszeitliche Schneegrenze angegebenen Werte entschieden zu niedrig und überhaupt anfechtbar. Zwar ist scheinbar gegen die Methode

ihrer Bestimmung nicht viel einzuwenden. Beide Autoren setzen aber zur Erklärung der riesigen eiszeitlichen Gletscher eine, verglichen mit der heutigen, viel tiefere Lage der Schneegrenze als notwendig voraus. Brückner bemerkt ausdrücklich (Naturwissenschaftliche Wochenschrift, 24. Dezember 1905, Jena): „Wenn wir in der Eiszeit die Gletscher so riesengross angeschwollen sehen, so kann das nur darin seinen Grund gehabt haben, dass die Schneegrenze damals erheblich tiefer lag als heute.“

Das ist ein möglicher Grund, aber nicht der einzig mögliche. Eine grössere Firnregion als die heutige musste unstreitig vorhanden sein, aber sie brauchte nicht aus einer so viel tieferen Lage der Schneegrenze zu resultieren, sondern sie ergab sich von selbst aus der noch wenig tief erodierten, mehr plateauartigen, nicht durch tiefe Taleinschnitte bis ins Innerste gegliederten Gebirgsoberfläche.

Stellen wir uns die Furche des Tales von Zermatt bis auf 3200 m Höhe ausgefüllt vor, so gehört das ganze Talgebiet der Firnregion an. Ebenso, wenn es schon tiefer erodiert, aber mit einem gewaltigen Gletscher angefüllt war.

Zu grober, schematischer Veranschaulichung können wir uns auch die Schweizeralpen als einen massigen, fast prismatischen Klotz von 3500 m Höhe vorstellen. Die Höhe ist natürlich gering im Verhältnis zu Breite und Länge. Schneiden wir von jeder Seite gegen das Innere lange dreiseitige, fast prismatische Körper heraus (Täler), so geht an den schiefen Flächen, deren Schnittlinien die Talfurchen bilden, ein grosser Teil des Firngebietes verloren.

Was für eine Zukunft hat die jetzige Vergletscherung der Alpen? Nach meiner Auffassung sind die Gletscher rettungslos dem Untergang geweiht, wenn nicht ein noch zu erwähnendes Ereignis dem freilich erst nach vielen Jahrtausenden drohenden Verschwinden entgegentritt. In der Tat, wenn nach Hess der Hintereisferner sein Bett alljährlich um 2 cm erniedrigt, so muss schon nach 5000 Jahren die Erniedrigung einen solchen Betrag erreichen, dass aus diesem Grunde allein eine beträchtliche Verkürzung der Gletscherzunge eintreten wird. Ähnlich bei den andern Alpengletschern. Aus dem gleichen Grunde ist ja die enorme eiszeitliche Vergletscherung auf die heutigen schwachen Reste zurückgegangen.

Hier fragt es sich nun, ob Interglazialzeiten mit meiner Eiszeittheorie vereinbar sind? Man könnte zwar so argumentieren: So lange der eine Forscher zwei, der andere drei, der dritte vier und wieder ein anderer fünf oder noch mehr Eiszeiten unterscheidet, haben die Interglazialzeiten, für die jedesmal eine beträchtliche Klimaänderung postuliert werden muss, etwas Gezwungenes an sich und widersprechen völlig der Kontinuität der Naturerscheinungen. Ein Hauptgrund für die Annahme von Interglazialzeiten war der Umstand, dass die diluviale Flora und Fauna eben ganz und gar nicht zu dem für die eiszeitliche Vergletscherung bisher allgemein geforderten kälteren Klima stimmen wollten. Dieser Grund fällt nach meiner Auffassung der Eiszeit weg und man dürfte ernstlich prüfen, ob man nicht ohne Interglazialzeiten auskommen könnte. Dann hätten wir für die Alpen eine einzige und einheitliche Eiszeit und die

Interglazialzeiten würden ersetzt durch interstadiale Schwankungen.

Allein es sprechen so gewichtige Gründe für die Realität von wirklichen Interglazialzeiten und es werden diese Gründe von so zahlreichen gewiegten und vorsichtigen Forschern vorgebracht, dass wir die Frage nach Interglazialzeiten nicht so leicht abtun können.

Im Innern der Alpen gibt es, abgesehen von der Höttinger Breccie bei Innsbruck, sozusagen keine Beweise für Interglazialzeiten. Im Prätigau findet man neben den jungen Schottern, welche die prächtigen Terrassen bei Grüsch und Schiers bilden, auch solche von älterem Habitus, die fester verkittet sind und z. B. am Fusswege von Grüsch nach Seewis ruinenartig vorstehen. Einen ungemein fest verkitteten nagelfluhartigen Schotter fand ich einst auch in der Talsohle selbst, halbwegs zwischen Grüsch und Schiers auf der linken Talseite in der Gegend von Partschilts. Allein beide Vorkommnisse können schwerlich älter sein als die sogenannte Würmeiszeit und es ist wohl überhaupt wenig Hoffnung vorhanden, in den Alpentälern über diesen Punkt sicheren Aufschluss zu erhalten.

Wir können nun die Frage nach Interglazialzeiten, die nicht von einer allgemeinen Klimaänderung abhängen dürfen, auch so stellen: Kann ein früher vergletschertes, jetzt gletscherfreies Gebirge auch ohne allgemeine Klimaänderung nochmals zu einer Vergletscherung, bezw. einer Eiszeit gelangen? Die Antwort wird und muss lauten: Ja, wenn eine nochmalige Hebung des Gebirges stattfindet, oder wenn durch andere Verteilung von Land und Wasser die Niederschläge zunehmen.

Damit stossen wir auf den Zusammenhang der Eiszeit mit der Entstehung der Alpen. Allgemein nimmt man, dass die Haupthebung der Alpen zur Pliocenzeit erfolgt sei. Über den krystallinischen Zentralmassiven sind gewiss schon mindestens 1000 m abgewittert. Man nimmt schon aus diesem Grunde an, dass die Hebung des Gebirges nicht auf einmal, sondern etappenweise erfolgt sei. Sobald aber einmal die Höhe der Alpen die Schneegrenze wesentlich überschritt, musste die Vergletscherung beginnen und wachsen, konnte durch Gebirgsabtragung einen Rückgang erleiden, ja sogar ihr Ende erreichen und durch erneute Hebung wieder hervorgerufen werden. Interglazialzeiten sind also auch nach meiner Auffassung der Eiszeit möglich. Nichts hindert uns, die Vereisung schon im Pliocen beginnen zu lassen und nichts hindert uns, für jene Zeit selbst ein wärmeres Klima anzunehmen als das heutige ist. Wenn man vernimmt, dass bei der Besteigung des Aspromonte (1874 m) in Calabrien selbst Ende Juni noch Schneefelder zu passieren sind (Calberla im Jahrbuch XII des S. A. C., Seite 270), so lässt sich daraus indirekt schliessen, dass bei Beginn der Gletscherbildung durchaus kein arktisches Klima notwendig war. Ein wärmeres Klima bewirkt durch intensivere Meeresverdunstung für die benachbarten Gebirge eben auch reichlichere Niederschläge.

Hebung des Gebirges und Abtragung durch glaziale Erosion oder auch andere Verteilung von Land und Wasser würden also in mehrfach sich folgender Abwechslung Vergletscherungen (Eiszeiten) und Interglazialzeiten

bedingen. Sollten die vier in einander liegenden Trogformen oder Taltröge von Hess (362—369) sich überall in den Alpen nachweisen lassen, so wären sie ein Beweis für vier Hebungsperioden, in ähnlichem Sinne, wie letztere von Heim zur Erklärung seiner Stufen und Talbodensysteme angenommen wurden. Es wären dann die Tröge von Hess zugleich Beweise für Interglazialzeiten, allerdings nicht ganz in der von Hess vertretenen Auffassung, sondern als Zeugen der auch durch Hebung neubelebten, nicht nur durch interglaziale Wassererosion beförderten Gletschererosion. Die Talbodensysteme von Heim wären dann nochmals aller Beachtung wert.

Kommen wir zum Schlusse. Den springenden Punkt in meiner Auffassung der Eiszeit bildet neben den Niederschlagsverhältnissen natürlich die glaziale Erosionsgrösse, eine zur Zeit noch heiss umstrittene Frage. Vom theoretischen Standpunkt aus könnte etwa gesagt werden: Der Aggregatzustand der Niederschlagsmenge kann nicht ohne Einfluss sein. Stellen wir uns die Niederschläge anstatt in Form von Wasser oder Eis als entsprechende Menge von Wasserdampf zu Tale fliessend vor, so ergäbe sich gewiss eine sehr geringe Erosionswirkung.

Wir haben gesehen, dass die Gletscher bis weit unter die Schneegrenze die Talbildung durch fluviatile Erosion einfach ausschliessen. Das steht im Kausalzusammenhang mit dem Umstand, dass bei der Verdichtung des Wasserdampfes zu Schnee eben mehr Wärme abgegeben wird, als bei der Kondensation zu Regen.

Zur Beantwortung der äusserst wichtigen Frage

nach dem Betrag der glazialen Erosion liegen schon zahlreiche wertvolle Messungen des Schlammgehaltes der Gletscherbäche vor (von Dollfus, Helland, Reid, Baëff, Forel, Greim, Duparc, Oyen und andern, namentlich nordischen Forschern). Von besonderem Interesse sind namentlich auch die Experimente, die von Hess, Blümcke, Finsterwalder und Baltzer unternommen wurden, um die Erosionsgrösse zu bestimmen. Allenthalben wird jetzt der Frage viel grössere Aufmerksamkeit geschenkt, als zu jener Zeit, da Penck fast allein mutvoll auf weiter Flur stand. An ihrer Lösung sind gerade durch die Beziehung zur Eiszeit fast sämtliche Zweige der Naturwissenschaften interessiert. Möchte darum die Forschung sowohl in der Natur als im Laboratorium eifrig fortgesetzt werden und möchten auch in der Schweiz, wo man bis in die neuere Zeit einen eher ablehnenden Standpunkt einnahm, Versuche in grösserem Massstabe unternommen werden.

In der Geschichte unserer Erde gab es zwei Perioden, in welchen durch Entstehung mächtiger Gebirge und durch auffallend starke und weitverbreitete vulkanische Tätigkeit eine wesentliche Umgestaltung der Kontinente erfolgte, das spätkarbonische Zeitalter mit der Dyas und sodann, nach dem verhältnismässig ruhigen mesozoischen Zeitalter, das Tertiär. Den tertiären Bewegungen folgten die grossen diluvialen Vergletscherungen. Die spätkarbonischen Gebirgsbildungen hatten, wenn die Beobachtungen in Südafrika u. a. a. O. sich bestätigen, ebenfalls eine Vergletscherung zur Folge. Wenn aber in Südafrika eine solche eintrat, musste dann nicht auch der mächtige mitteleuropäische karbonische

Gebirgsbogen Gletscher tragen? In diesem Falle wären die Konglomerate der Dyas teilweise als fluvioglaziale Schotter aufzufassen. Das soll hier natürlich nur als Vermutung ausgesprochen werden. Eine permokarbonische Eiszeit erscheint selbst bei dem damals ohne Zweifel bedeutend wärmeren Klima wohl möglich, wenn wir bedenken, dass für die Vergletscherung die Feuchtigkeit ein massgebender Faktor ist, der, wie schon Heim mit allem Nachdruck hervorgehoben hat, mehr als 20 Grade Verschiedenheiten in den Temperaturen zu überwältigen vermag.

Kopfschüttelnd werden die Gegner der Gletschererosion den ersten Abschnitt meiner kleinen Arbeit gelesen haben, kopfschüttelnd Freunde und Gegner den zweiten. Muss es nicht als Anmassung erscheinen, die Ursachen der Eiszeit erklären zu wollen und die Ansichten hervorragender Forscher in diesem oder jenem Punkte anzufechten? Milder wird das Urteil ausfallen, wenn man bedenkt, dass die verdientesten Gletscherforscher in sehr wichtigen Fragen zu keinem übereinstimmenden Resultat gelangen konnten. Der zu gewärtigenden Einwände bin ich mir wohl bewusst. Damit man nicht sagen könne, ich hätte eine Hauptsache nicht genügend betont, sei nochmals hervorgehoben: Sobald wir die Gleichzeitigkeit der Eiszeiten für die ganze Erde fallen lassen und auch von periodischer, die ganze Erde betreffender Wiederkehr absehen, steht uns in den zahlreichen Fällen, für welche eine von der heutigen verschiedene Verteilung von Land und Wasser nachgewiesen ist, bei ozeanischem Klima der gewaltige Faktor Feuchtigkeit mit verhältnismässig kühlen Sommern zur Erklärung der

grossen Vergletscherungen zur Verfügung.[1]) Ich bin darum nochmals der Ansicht, dass durch das grosse Sammelgebiet der präglazialen Gebirgsoberfläche, durch den Grad der Feuchtigkeit, durch Temperaturabnahme nach der Höhe und nach den Polen und durch glaziale Erosion das Kommen und Gehen der Eiszeiten sich befriedigend erklären lässt, ohne dass wir an eine allgemeine Änderung des Erdklimas zu denken brauchen.

NACHTRAG.

Obiger Aufsatz, schon im März in einer Anzahl von Separatabzügen gedruckt, wurde unverändert ins Jahrbuch aufgenommen, obwohl einige Bemerkungen und Zusätze geboten erschienen, die nun nachträglich zur Sprache kommen sollen.

Die Bemerkung auf Seite 193 unten ist nicht so aufzufassen, als ob ich mir die Alpen jemals in der Gestalt einer fast parallelepipedischen Tafel vorgestellt hätte. Es handelte sich hier nur darum, die Verkleinerung der Firnregion durch die Taleinschnitte ganz schematisch anzudeuten.

Es ist mir ferner der Einwand gemacht worden, dass von ca. 2000 m Höhe an die Niederschläge abnehmen und daher schwer abzusehen sei, woher ein noch höherer präglazialer Talboden die gewaltigen Eis-

[1]) Auf den interessanten Artikel von Dr. Andrée-Göttingen über Klimaänderungen (Naturwissenschaftliche Wochenschrift, Januar 1906) kann ich hier nur noch verweisen, da er mir erst in letzter Stunde zu Gesichte kam.

massen hätte beziehen können. Abgesehen von dem Hinweis auf Firn und Eis der jetzigen Hochregionen, ist darauf zu erwidern, dass die Messungen über die Wasserführung der Rhone auf grössere Niederschlagsmengen im eigentlichen Hochgebirge schliessen lassen, als man nach den Ergebnissen der meteorologischen Stationen anzunehmen berechtigt ist.

Was die Interglazialzeiten anbetrifft, so bin ich trotz des Rhododendron ponticum der Höttinger Breccie noch jetzt nicht vollkommen davon überzeugt, dass die diluvialen Gletscher jemals wirklich bis ins Innere der Alpen zurückgegangen und dann wieder bis ins Vorland vorgestossen sind. Meine Bemerkungen auf Seite 196 wollten nur die Möglichkeit von Interglazialzeiten dartun, die auf Bewegung der Erdrinde beruhten, sei es auf weiter fortschreitender Faltung, sei es auf Hebung des Alpenkörpers als Ganzes.

In einem vorläufigen Bericht über die von Merzbacher unternommene Erforschung des Tian-Schan (Westermanns Monatshefte, März 1906, von A. Albert) las ich die interessante Notiz, dass der Inyltschek-Gletscher (75 km lang, fast so lang wie der diluviale Aaregletscher) in seinem Unterlaufe auf etwa 20 km Länge eine mehrere hundert Meter mächtige Schuttdecke trage, die durch Erosion, atmosphärische Einflüsse und Gletscherbewegung ganz das Relief eines Gebirges angenommen habe. Ähnliches berichtet Jacot-Guillarmot von dem über 50 km langen Baltoro-Gletscher im Himalaya. Wir haben keinen Grund, anzunehmen, dass unsere grossen diluvialen Gletscher sich anders verhielten. Es waren also im Vorlande Vegetation und Schwemmbildungen

gleichzeitig auf dem Gletscher selbst möglich. Wie manches angeblich interglaziale Profil lässt sich dadurch ungezwungen auf interstadiale Oszillationen zurückführen!

Die eiszeitliche Schneegrenze, die Penck und Brückner für den Nordrand der Schweizer Alpen zu ca. 1250 m angeben, habe ich als allzuniedrig bezweifelt. Es ist nun selbstverständlich an mir, den ausgesprochenen Zweifel durch Tatsachen, die für eine nach meiner Ansicht mindestens 500 m höhere Schneegrenze sprechen, zu begründen. Ich gedenke dies an anderer Stelle in einem besondern Artikel zu tun. — Es soll dann auch der Versuch gemacht werden, die Erklärung der grossen Vergletscherung durch Höherlage des einstigen Talbodens an bestimmten Beispielen etwas einlässlicher und besser mit Zahlen belegt vorzubringen, als es mir in vorliegender Arbeit möglich war.

Die Mitglieder unserer Gesellschaft finden Bemerkungen über glaziale Erosion in den Berichten über die gelungenen, von Früh geleiteten Exkursionen ins Rheintal (Jahrbuch 1899/1900, S. 15—17, und 1904, S. 30—32). Ferner sei verwiesen auf die von Schmid in den Jahrbüchern 1900/1901, S. 187—190, und 1904, S. 179—181 geäusserten interessanten Bemerkungen über Klima und Flora der Eiszeit.

Über fluviatile Erosion.

Gewaltig erscheint die Geschiebeführung der aus den Alpen kommenden Flüsse und Bäche. Und doch ist im Grunde ein grosser Betrug dabei. Unsere

Flüsse zehren noch vom alten Fette, vom Überschuss der Eiszeit. Lägen nicht allerorten noch gewaltige Massen von Moränen und glazialen Schottern und lieferten nicht die heutigen Gletscher noch bedeutendes Trümmermaterial, so würde die Geröllführung unserer fliessenden Gewässer beträchtlich reduziert.

Es gibt allerdings Felsarten, in welchen die Flüsse und Bäche rasch erodieren. Dies ist namentlich der Fall im eocenen Flysch und verschiedenen ihm petrographisch ähnlich sehenden mesozoischen Schiefern, z. B. im Palfriesschiefer (Trübbach!) und den Bündnerschiefern verschiedenen Alters. Doch ist auch hier nicht zu übersehen, dass die gefährlichsten Wildwasser, wie z. B. die Nolla, die Seitenbäche der Landquart und der Plessur ihr Einzugsgebiet zum grossen Teil in gewaltigen glazialen Schuttmassen haben.

In härteren Gesteinen aber haben selbst starke Gewässer in den felsigen Stufen zwischen je zwei Talweitungen seit dem Rückzug der grossen diluvialen Gletscher nur enge Schluchten zu schaffen vermocht, deren Querschnitt, auch wenn er eine nennenswerte Tiefe erreicht, doch zum Querschnitt des ganzen Tales in einem sehr bescheidenen Verhältnis steht. In den flachen Abschnitten der Alpentäler ist in vielen Fällen die Erosion zum Stillstand gekommen und vermag den gröbern Schutt nicht einmal mehr fortzuschaffen.

Jede Sache lässt sich von zwei Seiten betrachten. Wenn der Verfechter der Flusserosion in den felsigen Talengen noch Moränen kleben sieht oder wenn ein Flussbett in Moräne liegt, so sagt er zu den Gletschermännern: Da haben wir den Beweis, dass das Tal schon existierte, als der diluviale Gletscher es erfüllte.

Der Anhänger der Glazialerosion aber entgegnet: Nein, diese Moränen beweisen nur, dass das Tal geschaffen war, als der Gletscher es verliess. Geschaffen wurde es durch den Gletscher. Und mit eurer Wassererosion muss es nicht weit her sein, sonst hätte sie in den 20,000 Jahren seit dem Rückzug der Gletscher diese Moränenreste schon längst weggefegt.

Aber, wird man einwenden, sind nicht die riesigen Massen der tertiären Nagelfluh der beste Beweis für die gewaltige Geröllführung der Flüsse? Diese Frage mag im nächsten Abschnitt erörtert werden.

Über die miocene Nagelfluh.

Die Mächtigkeit der subalpinen Molasse (zum grossen Teil Nagelfluh, daneben Sandstein und Mergel) ist eine erstaunliche. Man kommt auf Zahlen, die man fast nicht auszusprechen wagt.

Betrachten wir die Gutzwillerschen Profile (14. Lieferung der Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz), so ergibt sich für die Molasse vom Kontakt mit dem Eocen bis zur grossen nördlichen Antiklinale eine Mächtigkeit von mindestens 5000 Meter, auch wenn man die durch Faltung bedingte Wiederholung der nämlichen Schichtkomplexe in Betracht zieht und abrechnet. Man hat sich zwar jedenfalls vorzustellen, dass die Schichten in ihrem nordnordwestlichen Einfallen nach der Tiefe ziemlich rasch an Mächtigkeit abnehmen. Doch auch in unserem Profil von der Hohen Buche, wo die nördliche Antiklinale durchzieht, bis nach Peter und Paul bei St. Gallen ergibt sich immer noch eine

Mächtigkeit von ca. 3500 m und mit Hinzurechnung der noch überlagernden Schichten bis zum Übergang in die horizontale Molasse ein Total von mindestens 4000 m (Profil im Jahrbuch 1903 der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft, von Ch. Falkner und dem Verfasser).

Auch wenn man sich vergegenwärtigt, dass die Mächtigkeit der Molasse gegen Norden und gegen den Jura hin beträchtlich abnimmt und dass die jüngeren Schichten jeweilen an einem durch Auffüllung sukzessive nach Norden vorrückenden Strand des einstigen schweizerisch-schwäbisch-bayerischen Molassesees, beziehungsweise -Meeres ihren Anfang nahmen, also nicht für die ganze subalpine Zone den ältern aufliegen, so erscheint doch die Annahme einer mittleren Mächtigkeit von 1000 m für das ganze schweizerische Molassegebiet schwerlich übertrieben.

Das ergäbe mindestens 8000 km³ Gesteinsmaterial. Und diese gewaltige Masse müsste zum weitaus grössten Teile aus den Alpen gekommen sein, deren Hebung schon am Ende der Eocenzeit begonnen hatte, aber erst im Pliocen in der Hauptsache zum Abschluss gelangte. Zur Zeit der Ablagerung der miocenen Nagelfluh kann das Finsteraarhornmassiv mit der Tödikette unmöglich existiert haben, man müsste sonst in der Nagelfluh viel mehr helvetisches Material finden. Auch das Silvrettamassiv war noch nicht gehoben. Die subalpine Molasse stammt teils aus der Eocendecke der damals noch nicht gefalteten nördlichen Alpen[1]), teils aus südlicheren Ge-

[1]) Man sehe auch die Bemerkung von Schardt in der wichtigen Arbeit „Die exotischen Gebiete der Nordalpen“ (Eclogæ 1898, Nr. 4, Seite 239 unten).

birgen. Und dieses südliche Gebirge muss ein ausgedehntes und hohes gewesen sein, denn sonst wäre eine Abtragung von mehreren tausend Kubikkilometern undenkbar. Dieses südliche Hochgebirge konnte schon damals bedeutende Vergletscherung zeigen und deshalb bin ich geneigt, die miocene Nagelfluh zum grossen Teil für ursprünglich fluvioglaziale Schotter zu halten, die durch mindestens fünf grössere Flüsse in den schweizerisch-bayrischen Molassesee abgelagert wurden, eine Ansicht, die ich übrigens niemand aufdrängen will.

Von diesem Standpunkt aus wäre also die Nagelfluh kein Beweis für die grosse ursprüngliche Geröllführung, bezw. Erosion durch Flüsse, sondern im Gegenteil für die Überlegenheit der glazialen Erosion. Jedenfalls ist es auffällig, dass am Nordrande der Molassezone und im Jura, wo doch auch Flüsse mündeten, die Mächtigkeit der Nagelfluh nur unbedeutend ist.

Die Möglichkeit, dass die Nagelfluh als fluvioglazialer Schotter zu deuten sei, haben Freund Falkner und ich schon vor Jahren anlässlich unserer geologischen Kartierung der Umgebung von St. Gallen gesprächsweise erörtert. Wir gelangten aber damals zu keiner bestimmt ausgesprochenen Ansicht, weil wir zu jener Zeit die Wirksamkeit der fluviatilen Erosion gegenüber der glazialen gar sehr überschätzten.

Das miocene südliche Hochgebirge reichte vermutlich vom südöstlichen Graubünden, vielleicht vom Westtirol und Veltlin über den Tessin bis gegen Ivrea und das Aostatal hin. Zu seinem Grundstock gehörte vielleicht das gewaltige, jetzt tief abgetragene Tessinermassiv. Der Sedimentdecke dieses miocänen Hoch-

gebirges entstammen wohl die Triasgerölle (ostalpine Fazies), die, wie Früh in seinen eingehenden und bedeutungsvollen Untersuchen nachgewiesen hat, in der Nagelfluh sehr zahlreich sich finden (Neue Denkschriften, Band XXX).

Die merkwürdigen fremdartigen Granite, Porphyre etc. der Nagelfluh entstammen wohl zum Teil direkt einer Zone älterer Eruptivsteine, deren Reste wir südwärts in der Gegend von Lugano noch finden. Zum Teil aber sind sie von den seltsamen exotischen Blöcken, Breccien und Conglomeraten des eocenen Flysch abzuleiten (man denke z. B. an die Habkern-Granite). Es muss jedoch zur Miocenzeit die Zone der „Klippen" sich noch weit im Süden befunden haben. In den Flysch müssen die fremdartigen Gesteine ebenfalls aus jener jetzt grösstenteils abgetragenen eruptiven Landmasse gelangt sein.

In der Pliocenzeit wurde durch die Entstehung der nördlichen Zentralmassive die Wasserscheide weiter nach Norden verlegt und damit die Vorbedingung für das heutige Alpenrelief geschaffen.

Die Faltung der nördlichen Kalkalpen und das präglaziale Molasse-Vorland.

In dem grossen Werke „Das Säntisgebirge" von Heim ist die Beschreibung der vielen Querbrüche von ganz besonderem Interesse. Eine Vergleichung der beidseitigen Gebirgsteile am grossen Sax-Schwendibruch muss den Anhänger der Gletschererosion, der

die Täler durch Eiswirkung entstehen lässt, mit Notwendigkeit zu der Ansicht führen, dass die Entstehung dieses Bruches in sehr späte Zeit, erst gegen das Ende der grossen Vergletscherung zu verlegen sei.

Tektonisch von noch grösserem Interesse ist das Faltensinken durch Verwerfungen nach dem Rheine und das Wiederaufsteigen der Kastendecke in den Vorarlberger Kreideketten. Blumer und Heim erklären das beidseitige Absinken nach dem Rheine durch das Vorhandensein einer präalpinen Senke, einer Depression, bezw. eines pliocenen Tales, in welches die Kastendecke bei der Überschiebung einbrechen musste. Es sei mir gestattet, in dieser Frage eine ähnliche Ansicht kurz zu begründen, wobei ich seltsamerweise noch einmal auf die Nagelfluh zurückkommen muss.

Schon oft habe ich mich gefragt, ob einst zwischen Appenzell und dem Bregenzerwald auch so hohe Molasseberge ragten, wie wir sie jetzt noch im Speer (1954 m), Stockberg (1784 m), Kronberg (1640 m) und jenseits des Rheines im Rindalphorn (1815 m), südwestlich von Immenstadt, sehen. Die Ausführungen von Blumer über das Sinken der Kreidefalten nach dem Rheine (Seite 603—608 im Säntiswerke) haben meine früheren Zweifel nur noch bestärkt.

Die Kontaktlinie zwischen Molasse und Eocen am Nordrand der Alpen ist merkwürdig gebrochen. Setzen wir sie in Beziehung zu den vier grossen Nagelfluhgebieten (Napf, Rigi, Speer-Hörnli, Bregenzerwald-Allgäu), so scheint nach meiner Ansicht in der gebrochenen Kontaktlinie folgende Regel zu herrschen: Bei viel Nagelfluh bleibt das Kalk- und Schiefergebirge deutlich etwas im Süden zurück; fehlt die Nagelfluh

fast oder ganz, so springt die Kontaktlinie in stumpfem Winkel nach Norden vor. Selbst für das kleinere Nagelfluhgebiet nördlich von Vevey am Genfersee scheint diese Regel noch zu gelten.

Betrachten wir die Nagelfluhzonen als Deltabildungen der miocenen Flüsse, so müssen wir für die Molasse zwischen je zwei Nagelfluhgebieten bedeutend geringere Mächtigkeit annehmen. Leider ist dies sehr schwierig direkt nachzuweisen; doch scheint das Profil Fähneren-Freudenberg von Gutzwiller (14. Lieferung der Beiträge), verglichen mit den westlicheren Profilen, tatsächlich für ein Abnehmen der Mächtigkeit nach dem Rheine hin zu sprechen.

Bei der Faltung hätten also nach meiner Auffassung die Nagelfluhmassen als Stauungsfaktor gewirkt, wodurch sowohl die Molasse selbst als die Kreidedecke intensiv gefaltet und zu hohen Gebirgen aufgerichtet wurden. In die breiten wannenartigen Depressionen zwischen je zwei ehemaligen miocenen Deltas musste das Kreide- und Flyschgebirge einbrechen und konnte zugleich weiter nach Norden vordringen, da die Stauung der geringeren Molasse-Mächtigkeit wegen nicht so bedeutend war.

Die subalpine Molasse hat nach meiner allerdings ungenauen Schätzung durch die Faltung einen Zusammenschub um ca. 5 km erlitten. Sie reichte also einst bis in die Gegend des heutigen Rüti-Götzis-Hohenems, oder, da der Strand des Molassesees schwerlich eine so schnurgerade Linie bildete, möglicherweise in einer Bucht bis gegen Feldkirch hin.

Nach meiner mit allem Vorbehalt gegebenen Auffassung wäre also das von Blumer genauer behandelte

Faltensinken nach dem Rheine durch das Vorhandensein einer ehemaligen Seewanne zwischen zwei grossen Nagelfluhdeltas zu erklären.

Damit ist zugleich gesagt, dass mir die von Penck vertretene Auffassung des präglazialen Molasse-Vorlandes als einer Abtragungsebene für die Bodenseegegend nicht zutreffend erscheint. Die Entstehung des Bodensees ist zwar mit Penck grösstenteils der Eiswirkung des Rheingletschers zuzuschreiben. Dass er aber gerade hier entstand, ist wohl der im Pliocen gehobenen alten Seemulde zwischen zwei grossen Nagelfluhgebieten zu verdanken.

Soeben erhalte ich die bedeutsame Schrift von E. Geinitz „Wesen und Ursache der Eiszeit“ (Güstrow, bei Opitz & Co., 1905). Geinitz sieht die Ursache der Eiszeit in den durch die eigenartige Konfiguration der Kontinente am Schlusse der Tertiärzeit bedingten vermehrten Niederschlägen, fasst die Eiszeit nicht als allgemeine Kälteperiode auf, spricht sich im Gegenteil für ein zu Beginn und zum Teil auch noch während der Eiszeit gegenüber dem heutigen sogar etwas wärmeres oder doch wenigstens dem heutigen gleichkommendes Klima aus, verneint überhaupt eine die ganze Erde betreffende „eiszeitliche“ Klimaerniedrigung und bestreitet periodische Unterbrechungen (Interglazialzeiten) des einheitlichen Ganges.

Es ist mir des Raumes wegen nicht möglich, näher darauf einzugehen; ich verweise mit Nachdruck auf die wichtige Schrift selbst.

Von einem ganz andern Gesichtspunkte ausgehend, nämlich von der glazialen Erosion, bin ich, ohne die Schrift von Geinitz zu kennen, zu einer Auffassung der Eiszeit gelangt, die sich mit der von Geinitz schon vor einem Jahr ausgesprochenen in der Hauptsache vollständig deckt. Als neues Moment habe ich für den Rückgang der grossen Vergletscherung die glaziale Erosion betont, deren Bedeutung in den Alpen sich naturgemäss weit stärker aufdrängen musste als in Norddeutschland.

Erwähnung verdient noch, dass auch Geinitz die Möglichkeit andeutet, dass die Nagelfluh fluvioglazialer Natur sei.

Endlich sei noch auf einen Artikel „Über die klimatischen Verhältnisse der Vorzeit“ (Naturwissenschaftliche Wochenschrift 1906, Nr. 8) verwiesen. Dort schreibt Dr. W. R. Eckardt: „Die Annahme von im Laufe der Erdgeschichte periodisch wiederkehrenden Kältewellen, die die Gesamttemperatur der Erde in allen Zonen gleichmässig herabzusetzen vermögen, ist eine ebenso grundlose und unbeweisbare Voraussetzung, wie die einer in den übrigen vergangenen Erdperioden von den Polen bis zum Äquator verbreiteten gleichmässigen Wärme.“