

Die Eiszeit in den Alpen.

Von

DR. ALBRECHT PENCK

in München.

Vortrag, gehalten am 1. April 1885.



Die erhabene Grösse des Alpengebirges mit seinen stolzen Gipfeln und tiefen Thälern wird gehoben und erscheint gesteigert dadurch, dass sich mit der Erhebung zugleich auch die Vegetation des Gebirges ändert. Im Osten, Süden und Westen überziehen Weinberge den Fuss des Gebirges, Gelände von Obstgärten überdecken dessen Vorberge, Kastanie und Wallnuss begleiten die Thäler. Dann, in das Gebirge eindringend, ändert sich allmählig die Zusammensetzung der Pflanzenwelt, die freundlichen Bäume des Südens treten zurück, Rebe, Obstbäume, Wallnuss und Kastanie werden durch die Waldbäume mehr und mehr verdrängt, die sich zu grossen Forsten aneinander schaaren, zugleich lässt der Feldbau nach; die Waldregion ist erreicht. Noch hinauf an den Gehängen der Berge steigt das Gehölz, eine ununterbrochene Hülle über den Felsgrund bildend. Allein wie compact auch der Wald erscheint, eine nähere Betrachtung lehrt, dass sich seine Zusammensetzung merklich ändert. Unten ist es Laubholz, sind es Eichen und Buchen, welche herrschen, während sich in grösserer Höhe der Nadelwald entfaltet, bis dann endlich von einer bestimmten Erhebung an

der Forst sich plötzlich lichtet und darauf verschwindet. Matten sind es nun, welche mit frischem Grün die Hänge überziehen, eine saftige Weide gewährend. Dies ist die Alpenregion. Manche seltsame Pflanzenform zeigt sich auf dem Blument Teppich der Wiesen, und ihre Zahl mehrt sich entschieden mit der Höhe. Die gewöhnlichen Gräser werden seltener, breite Polster von Blattgewächsen wölben sich sanft über den Boden, denselben oft in grossen Flächen kahl und nackt zu Tage treten lassend. Mit zunehmender Höhe erscheinen dann endlich Schneeflecken zwischen den Gewächsen, und diese werden von jenen mehr und mehr eingeengt, bis aus den Schneeflecken eine zusammenhängende Schneedecke wird, welche die höchsten Gipfel verhüllt. Dies ist das Reich des ewigen Schnees.

Drei Regionen drängen sich bereits beim Beschauen der Gebirge entgegen, und wenn auch der Wanderer manchmal nicht recht weiss, wo er die obere Grenze der Waldregion und die untere des ewigen Schnees zu suchen hat, so treten beide doch in entschiedenster Weise bei einem Anblick eines gewaltigen Bergmassivs hervor. Bis zu einer bestimmten Höhe reicht der Wald, und wenn er auch, leider! nur zu oft stark gerodet ist, so halten sich doch seine obersten, unverletzt gebliebenen Partien deutlich an ein bestimmtes Niveau. Schärfer noch markirt sich dasjenige der untersten Vorkommnisse des ewigen Schnees, denn wenn der Mensch zwar die Wälder roden konnte, um Alpen daraus zu machen, so war er stets machtlos

gegenüber dem bleibenden Schnee und konnte demselben nicht einen einzigen Zoll abgewinnen. Fest gesichert vor menschlichen Angriffen erscheint daher dessen Reich mit seiner Grenze, der sogenannten Schneegrenze. Beide, obere Baumgrenze und untere Schneegrenze erscheinen als parallele Linien über die Berghänge hinweggezogen und bedingen nicht wenig den malerischen Eindruck des Gebirges. Dasselbe ragt auf aus dem Bereiche der dunklen Wälder in das Gebiet der lichtgrünen Matten und steigt aus diesen in das Reich des blendend weissen ewigen Schnees empor. So gesellt sich zum Wechsel der Erhebungen ein Wechsel der Farbe, zur Plastik der Formen fügt sich der Reiz des Colorits hinzu.

Der Grund dieser Erscheinung liegt in dem Wechsel der Höhen selbst. Mit der Höhe nehmen die Temperaturen ab, also jene Factoren, welche das pflanzliche Leben regeln. Jede Pflanze bedarf zu ihrer Entwicklung eine bestimmte Wärmemenge, diese aber misst sich nicht nach der mittleren Temperatur des Jahres, sondern nach derjenigen Zeit, welche die Pflanze zu ihrem Wachstume gebraucht, der sogenannten Wachstumsperiode. Die letztere jedoch fällt bei uns gewöhnlich mit dem Sommer zusammen, und so erklärt sich denn, dass im Grossen und Ganzen es die Sommertemperaturen sind, von welchen die Entfaltung des Pflanzenreiches abhängig ist. Es bedarf der Weinstock, um zu gedeihen, einer höheren Sommerwärme als die meisten Laubhölzer, und diese wiederum eine grössere

als die Nadelbäume. Noch genügsamer sind die Gräser, die geringsten Anforderungen endlich an die Sommerwärme stellen die polsterbildenden Blattpflanzen, die in den obersten Lagen der Alpenregion angetroffen werden. Von einer bestimmten Höhe also, deren Sommertemperatur einen bestimmten Betrag nicht überschreitet, nämlich nicht höher als 5° C. ist, muss der Baumwuchs aufhören; es veranschaulicht die obere Waldgrenze die Höhe, in welcher eine bestimmte Sommertemperatur angetroffen wird.

Nicht anders verhält es sich mit der Schneegrenze. Dieselbe beginnt dort, wo der im Laufe eines Jahres fallende Schnee nicht geschmolzen werden kann; da nun der Schnee im Allgemeinen im Winter fällt und die Thauzeit durch den Sommer repräsentirt wird, so muss die Lage der Schneegrenze das Niveau eben derjenigen Sommertemperatur angeben, welche nöthig ist, den winterlichen Schnee zu schmelzen. So würde denn auch die Schneegrenze die Höhenlage einer bestimmten mittleren Sommertemperatur im Gebirge veranschaulichen; allein es ist noch ein anderer Factor zu berücksichtigen, nämlich die Menge des im Winter fallenden Schnees. Je mehr Schnee sich im Winter anhäuft, desto wärmer muss der Sommer werden, welcher ihn wegthaut, und umgekehrt. Es hängt daher die Lage der Schneegrenze nicht nur von der Sommertemperatur, sondern zugleich auch von der Menge des winterlichen Schnees ab; während die Lage der Baumgrenze nur von einem klimatischen Factor, nämlich der Sommer-

temperatur abhängig ist, bestimmen zwei Elemente, Schneefall und Sommerwärme, die Höhe der Schneegrenze. Folge dieses Umstandes ist die Thatsache, dass Baum- und Schneegrenze keineswegs überall durch eine bestimmte Höhe getrennt sind, also gleichweit übereinander liegen. Je geringer die Schneemassen sind, desto weniger warm braucht die Sommertemperatur zu werden, um dieselben zu schmelzen, desto höher muss man sich über die Baumregion erheben, um in das Reich des ewigen Schnees zu gelangen. Da nun im Allgemeinen anzunehmen ist, dass es im Winter in grossen Höhen schneit, so wäre zu sagen, dass diejenige Höhe, in welcher die mittlere Sommertemperatur sich nicht über den Gefrierpunkt erhebt, zugleich diejenige sei, in welcher man selbst bei geringen Schneemassen den ewigen Schnee antreffen müsse. Unter dieser Voraussetzung würde die Schneegrenze ganz ebenso wie die Baumgrenze die Lage einer bestimmten mittleren Sommertemperatur im Gebirge veranschaulichen, und zwar diejenige von 0° , während die Baumgrenze die Sommertemperatur von 6° zum Ausdruck bringt. Nun weiss man aber, dass man im Gebirge im Sommer 140 Meter hoch steigen muss, um 1° Temperaturerniedrigung zu verspüren; will man eine Abnahme von 6° wahrnehmen, wie solche zwischen der Baum- und Schneegrenze stattfindet, so muss man demnach $6 \times 140 = 840$ Meter hoch steigen. Obere Baumgrenze und unterer Saum des ewigen Schnees dürften daher 840 Meter von einander entfernt liegen, was aber

nur für den Fall gilt, dass die Schneemassen verhältnissmässig spärlich sind. Sind dieselben sehr reichlich, so ist eine hohe Sommerwärme nöthig, um sie wegzuthauen. Dann braucht man weniger hoch über die Baumregion aufzusteigen, um zum ewigen Schnee zu gelangen, und günstigsten Falles kommt man, wie in Patagonien, direct aus den Wäldern in Schneefelder hinein. Hieraus ergibt sich die sehr wichtige Thatsache, dass die zwischen Baum- und Schneegrenze gelegene Alpenregion verschieden hoch ist, und zwar um so höher, je trockener das Klima ist, und um so niedriger, je reicher an Niederschlägen das betreffende Land ist.

Weiterhin ist es aber auch mittelst dieser Daten möglich, etwaig denkbare Veränderungen in der Lage von Baum- und Schneegrenze zu erörtern. Ein Wechsel der Niederschlagsverhältnisse beeinflusst die Lage der letzteren; mehren sich die Schneemassen, so wird die Schneegrenze herabgedrückt, nicht aber auch die Baumgrenze; die Alpenregion wird also eingeengt. Tritt hingegen ein Wechsel in der Sommertemperatur ein, so werden beide, Schnee- und Baumgrenze, zugleich ihre Lage verändern, die Alpenregion wird nicht eingeengt sondern verschoben. Keineswegs aber ist zu sagen, dass eine Aenderung in der mittleren Jahrestemperatur die Lage von Baum- und Schneegrenze nothwendiger Weise beeinflussen müsse. In den mittleren Jahrestemperaturen spiegelt sich vornehmlich die Wintertemperatur, diese aber ist im Allgemeinen weder für die Lage der

Baumgrenze, noch für die des ewigen Schnees von Belang, und immerhin denkbar ist der Fall, dass, wenn die Sommer kälter werden, nicht zugleich auch die Winter strenger werden, sondern das Umgekehrte eintritt, dass die kühleren Sommer durch mildere Winter mehr als völlig compensirt werden. Bei einem solchen Falle wird ein Sinken der Sommertemperatur verbunden sein mit einem Steigern der Jahrestemperatur, und trotz dieser Steigerung werden Baum- und Schneegrenze herabgedrückt werden. Wenn also diese beiden Linien, welche den Alpen so eigene Reize verleihen, zugleich ihre Lage ändern, dürfen wir also nicht ohne Weiteres auf eine Veränderung der Jahrestemperatur schliessen, sondern nur auf eine solche der Sommerwärme, und wenn speciell die Schneegrenze sich verschiebt, die Baumgrenze aber stabil bleibt, so ist hiefür eine Aenderung der Niederschlagsverhältnisse verantwortlich zu machen. Die Differenzbewegung von Baum- und Schneegrenze, das heisst die absolute Höhe der Alpenregion über dem Meere und ihre eigene Höhe lässt also Schlüsse auf Sommertemperaturen und Niederschlagsmengen zu.

Dies eben gewonnene Ergebniss ist um so wichtiger, als weder Baum- noch Schneegrenze in den Alpen jene stabile Lage besitzen, welche man ihnen zuzuschreiben geneigt ist. Zwar lässt sich eine Verschiebung der Baumgrenze nur äusserst schwierig nachweisen, da der Mensch leider in zu grossem Umfange durch sinnlose Abholzungen die Baumgrenze mehr und

schneller herabgedrückt, als es langsam sich vollziehende klimatische Wechsel in Jahrhunderten zu thun vermöchten. Um so schärfer aber ist eine Verschiebung der Schneegrenze nachzuweisen, welche unabhängig von menschlicher Wirksamkeit erfolgt, aber dem Menschen nicht entgangen ist. Allgemein ist in den Alpen die Sage von vereisten Almen verbreitet, und selbst historische Zeugnisse beglaubigen, dass mancher Pass, welcher früher das Gebirge querte, ohne die Schneeregion zu berühren, nunmehr in letztere eingezogen ist. Allein alle diese in der Gegenwart sich abspielenden Erscheinungen treten an Umfang und Bedeutung durchaus gegen diejenigen zurück, welche der Vergangenheit angehören. Schon war Europa vom Urmenschen besiedelt, da fand eine ganz beispiellose Herabdrückung der Schneegrenze nicht bloß einmal, sondern mehrmals statt, und mit ihr zugleich ward die Baumgrenze verschoben, so dass ebendasselbe Alpengebirge, in welchem heute der Baumwuchs bis etwa 1900 Meter reicht, und das erst von 2700 Meter Höhe an in das Bereich des ewigen Schnees emporragt, damals schon von etwa 1200 bis 1300 Meter an in einen schneeigen Mantel gehüllt war, der also bis in Höhen herabreichte, wo heute erfolgreich Feldbau getrieben wird, während der Baumwuchs gänzlich aus dem Gebirge verbannt war. Das war die grosse Eiszeit.

Was hier in wenigen Worten ausgesprochen wurde, ist das Ergebniss vieljähriger Untersuchungen, die keineswegs direct zu dem führten, was hier als

charakteristisch für die Eiszeit ausgesprochen wird. Ehe man nämlich das Wesen der Eiszeit erkannte, musste man sich mit deren mannigfaltigen Wirkungen zu befreunden trachten, und aus diesen erst konnte auf die wesentlichen Dinge rückgefolgert werden. Erst musste nachgewiesen werden, dass die Eiszeit durch eine sehr mächtige und weit ausgedehnte Vergletscherung des Alpengebirges ausgezeichnet sei, ehe gewagt werden konnte, zu sagen, dass sie durch eine ungemein tiefe Lage der Schneegrenze charakterisirt werde.

Dem aufmerksamen Alpenwanderer entgehen kaum je zwei Eigenthümlichkeiten des Gebirges. Wer in dem Inneren grosser Thäler eine Bergbesteigung unternimmt, bemerkt zahllose Gesteinsblöcke, die lose über das Gehänge gestreut und die augenscheinlich Fremdlinge sind. Das sind die erratischen Blöcke. Ist dann einmal ein Berggipfel erreicht, so drängt sich bei der Rundsicht eine weitere Beobachtung entgegen: bis zu einer bestimmten Höhe lässt sich eine eigenthümliche Zurundung der Berghänge verfolgen, darüber erst beginnen die schroffen zackigen Formen, und die Grenzlinie, welche beide Typen der Berggestaltung trennt, ist eben dieselbe, bis zu welcher sich die erratischen Blöcke verfolgen lassen. Auch der Wanderer, welcher die Bergbesteigung scheut, macht eigenartige Beobachtungen in den inneren Alpenthälern. Je mehr er in dieselben eindringt, desto mehr buckelige Felsgestalten treten aus dem Thalboden hervor, bis schliess-

lich Schuttwälle das Thal queren, hinter sich manchmal einen kleinen See aufstauend. Der aufmerksame Beobachter erinnert sich hierbei wohl, dass er denselben Landschaftsformen bereits am Fusse des Gebirges begegnet ist. Vor den grossen Alpenthälern erstrecken sich wirr gelagerte Schuttwälle und umspannen die schönen grossen Alpenseen. Aehnlichen Wällen begegnet man endlich dann, wenn man zu den Gletschern kommt. Hier sieht man an deren Ende Schuttwälle, die auf das Regelloseste sich neben einander drängen; es sind die Endmoränen, hinter denselben aber liegt anstatt des Sees die eisige Fläche des Gletschers. Hier nun erhält der Wanderer Aufklärung über die vorher gemachten Beobachtungen. Er erkennt die Aehnlichkeit der im Thale gelegenen Wälle mit den Endmoränen des Gletschers und findet, dass die gerundeten Felsbuckel aufs Haar den Vorsprüngen des Gletscherbettes gleichen, über welche sich das Eis unablässig hinwegschiebt und dieselben dabei mittelst eingefrorener Steine kratzt und schrammt. Er erinnert sich, die früher wahrgenommenen Felsbuckel ganz ebenso oberflächlich geschrammt und polirt gesehen zu haben. Der Schluss liegt nun nicht mehr fern, dass es einst das Eis gewesen ist, welches bei einer früheren Ausdehnung den Grund der innersten Alpenthäler geschrammt und zugerundet hat und gelegentlich seine Moränen zu hohen Wällen aufthürmte.

Ist nun einmal die Andeutung dafür gefunden, dass die inneren Alpenthäler einst von Gletschern

bedeckt gewesen waren, so kommt sofort die Frage: Bis wohin hat die Vereisung gereicht? Da kommt nun die Beobachtung des Bergsteigers zu Hilfe. Er erkennt, dass die Zurundung oder Rundbuckelung der Bergänge durch das Zusammentreten zahlloser einzelner Rundbuckel verursacht wird, und die von ihm bemerkten erratischen Blöcke vergleicht er mit den einzelnen grossen Gesteinsbrocken, die auf der Gletscheroberfläche verfrachtet werden. Bis dahin, wo die schroffen Gehängeformen beginnen, reichte einst das Eis, also es erfüllte das Thal mehrere Hundert Meter hoch, so lautet das Ergebniss. Jetzt heisst es aber auch untersuchen, bis wohin sich diese alten Gletscher erstreckt haben. Wenn aber nach Rundbuckelformen und erratischen Blöcken, wenn nach Gletscherschliffflächen weiter gesucht wird, dann wird der Wanderer wieder aus dem Gebirge herausgeführt. Allenthalben nämlich in den Alpenthälern, allerdings in mehr oder weniger deutlicher Weise, begegnet er den gedachten Erscheinungen, bis er endlich das Gebirgsvorland erreicht. Sobald er dieses betritt und aufmerksam die Landschaft betrachtet, bemerkt er, dass dieselbe vor dem Thalausgange eine grosse beckenförmige Einsenkung bildet, in deren Mitte sich entweder einer der schönen Alpenseen, oder eine grosse Moorfläche erstreckt. Von dieser Einsenkung steigt das Land allseitig an, und wird dieselbe auf der einen Seite vom Gebirge begrenzt, so wird sie auf der anderen von zahlreichen einzelnen Wällen umrahmt, die sich wie die Sitzreihen eines antiken Amphi-

theaters übereinander bauen. Das sind dieselben Wälle wieder, die im Innern des Gebirges als Gletschermoränen gedeutet wurden, nicht bloß nach ihrem Aussehen, sondern vor Allem auch nach ihrer Zusammensetzung. Zweierlei Material betheilt sich nämlich an ihrem Aufbau. Da ist zunächst grober eckiger Schutt zu nennen, welcher aus dem Innern der Alpen stammt und trotz des weiten Weges, welchen er zurückgelegt hat, keinerlei Spuren des Transportes aufweist. Ganz ebenso aber verhält es sich mit dem Schutte, wenigstens der Regel nach, welcher auf dem Gletscher verflößt wird. Derselbe wird mit dem Eise vorwärts bewegt, aber indem er dem letzteren aufruht, behält er, so weit er auch verfrachtet wird, seine ursprüngliche Beschaffenheit bei. Kein anderes auf der Erdoberfläche wirkendes Transportmittel vermag in gleicher Weise wie der Gletscher Trümmer zu transportiren, ohne denselben zugleich Spuren des Transportes aufzudrücken. Neben diesen eckigen Gesteinsfragmenten, die durch Beschaffenheit und Herkunft eine Verfrachtung durch Gletschereis beweisen, liegen andere, welche gleichfalls sehr weit transportirt sind, aber eine dem zurückgelegten Wege entsprechende Abnützung zeigen. Es sind nämlich diese Fragmente mehr oder weniger abgerundet, manchmal ist diese oder jene Seite förmlich abgeschliffen, die ganze Oberfläche aber ist über und über mit regellos sich kreuzenden Linien, Schrammen oder Furchen bedeckt. Aehnlich werden die Scheuersteine zugestützt, welche an der Unterfläche des

Gletschers eingefroren sind und den festen Felsgrund abschleifen, wobei sie selbst auch mehr oder weniger geschliffen werden. In ihrer Gesammtheit bilden diese Blöcke mit dem beim Abschleifen entstandenen Schlamm die Grundmoräne des Gletschers, welche mit der Oberflächenmoräne, das heisst den auf dem Eise ruhenden Trümmern, verfrachtet, aber zugleich auch abgenutzt wird. Der Transport von Grund- und Oberflächenmoränen reicht so weit wie der Gletscher selbst. Am Ende des letzteren, wo das Eis schmilzt, treffen sich beide, bleiben liegen und thürmen sich zur Endmoräne auf, die demnach immer aus zweierlei verschiedenem Materiale besteht, so wie es auch die vor den Alpenthälern liegenden Wälle zeigen.

Unzweifelhaft sind in Letzteren daher Gletscherwerke zu verzeichnen, und in der That, es finden sich noch anderweitige Spuren für die ehemalige Eisausdehnung. Das Land, welches von den Wällen umspannt wird, der Boden des Amphitheaters wird von einem eigenthümlichen Lehme erfüllt, welcher voller gekritzter und geschrammter Steine ist, wie solche in der Grundmoräne entgegentreten. Dies ist der Blocklehm, unzweifelhaft die Grundmoräne der alten Gletscher. Unter demselben zeigt der Felsgrund dieselben Schrammungen oder Gletscherschliffe, wie sie in den inneren Gebirgsthälern und unter dem Gletscher wahrgenommen werden, kurz Alles vereinigt sich dahin, eine vormalige, sehr beträchtliche Gletscherausdehnung zu erweisen.

Die einschlägigen Studien deren Verlauf kurz skizzirt wurde, sind in der Schweiz begonnen worden, sie wurden dann namentlich auf der Südseite der Alpen weiter fortgesetzt, und schliesslich auch in Frankreich und Deutschland aufgenommen, und heute ist es schon möglich, ein Bild von der ehemaligen gesammten Vereisung der Alpen zu entwerfen, wiewohl noch an vielen Orten, namentlich in Oesterreich, Untersuchungen fehlen. Versuchen wir, ein Bild zu zeichnen.

Gewaltige Gletschermassen erfüllen die Thäler der westlichen Schweizer Alpen und erstrecken sich bis aus dem Gebirge heraus. So gewaltig war ihre Masse, dass hier, wo die Bergkämme fehlen, welche bis dahin die einzelnen Eisströme getrennt haben, dieselben in ein einheitliches Meer von Eis verschmelzen, welches das ganze Schweizer Alpenvorland bis zu den Rücken des Schweizer Jura erfüllt. Letztere dämmt das Gletschermeer förmlich auf, und dieses sucht Auswege. Einen findetes im Süden zwischen Jura und Alpen. Ein enormer Eisstrom folgt dem heutigen Thale der Rhône und verbreitet sich bis nach Lyon. Ein zweiter strebt nach Norden, überschreitet das niedrige Ende des Jura und dringt bis in die Gegend von Basel vor. Grossartig waren die Eismassen im Rheinthale angeschwollen; ihre Verbreitung auf dem Gebirgsvorlande ward nicht durch eine vorgelagerte Barre gehindert, fächerförmig konnten sie sich hier nach allen Richtungen hin ausdehnen sie reichten nach Westen bis unterhalb Schaffhausen, wo sie sich mit den Gletschern der westlichen Schweiz

trafen, nach Norden schoben sie sich über die Wasserscheide in das Gebiet der Donau, nach Osten bis an die Ufer der Iller.

Mit dem Rheingletscher rivalisirt sein östlicher Nachbar, der Inngletscher, an Umfang und Bedeutung. Alle die einzelnen Thäler der Tiroler Centralalpen bargen sehr beträchtliche Gletscher, die im Innthale vereinigt wurden. Aber anstatt sich in Letzterem zu concentriren, überflutheten sie dessen Nordgehänge, durchmassen die bairischen Kalkalpen und betraten in zahlreichen Thälern das Alpenvorland, wo sie sich wieder trafen und zu einem einzigen Eismantel am Fusse des Gebirges verschmolzen. Allein innerhalb dieser zusammenhängenden Masse wahrte sich die Selbstständigkeit eines jeden Bestandtheiles derselben, und jeder Eisstrom, aus welchem sie entstanden war, entwickelte sich unabhängig vom andern. Die einen schoben sich mehr, die anderen weniger weit nach Norden vor, je nachdem sie mehr oder weniger bedeutend waren, manche von ihnen reichten selbst nördlicher, als München gelegen ist.

Die Entwicklung des Inngletschers kann als Typus für die Vergletscherung der beiden östlich gelegenen Thäler der Salzach und Enns gelten. In beiden war das Längsthalden Eismassen zu eng, sie flutheten durch die niedrigen Pforten in dessen Gehänge durch die Kalkalpen hindurch. In drei grossen Zweigen drängten sich Ausläufer des Salzachgletschers durch die Letzteren. Der eine überschritt den Pass Thurn, schob sich im Thal

der Rittbüchler Ache vorwärts und erreichte das Alpenvorland in der Gegend des heutigen Chiemsee. Ein zweiter Arm verliess das Salzachthal in der Gegend von Zell am See und drang im Salzachthale gegen Reichenhall zu vorwärts. Hier traf er sich mit dem Hauptstamme des Salzachgletschers wieder, verschmolz mit demselben und drang im Salzburger Becken vorwärts, sich im Norden fast bis Braunau erstreckend, im Westen mit dem Gletscher des Chiemgau zusammenstossend. ¹⁾

In ähnlicher Weise zertheilte sich der Ennsgletscher im Gebirge. Einen Arm sandte er durch das Thal der Traun in das Salzkammergut, wo sich derselbe in viele einzelne Ableger zersplitterte. Ein zweiter Arm löste sich am Pyrn-Passe vom Hauptgletscher los, Letzterer endlich selbst gabelte sich vor Eintritt in das Gesäuse, die so entstandenen Zweige aber vereinigten sich bald wieder und schoben sich bis gegen Klein-Reifling weit oberhalb Steyr vor. Alle diese einzelnen Aeste des Ennsgletschers reichten also lange nicht bis an den Rand des Alpenvorlandes, betraten das Letztere demnach nicht, verschmolzen also nicht wieder in analoger Weise, wie die Ausläufer des Inn- oder Salzachgletschers. ²⁾ Weiter gegen Osten ist leider das vorzeitliche Gletscherphänomen nicht genau untersucht, dass es aber auch hier seine Spuren entfaltet hat, lehren alte Moränen am Schneeberg unweit Wiener-

¹⁾ Nach freundlicher Mittheilung von Dr. E. Brückner.

²⁾ Nach freundlicher Mittheilung von Dr. A. Böhm.

Neustadt, ¹⁾ während Erscheinungen, die in der Nähe von Pitten als Gletscherspuren gedeutet wurden, noch näherer Untersuchung bedürfen.

Ueberblickt man hier die kurz skizzirte Entwicklung der alten Gletscher auf der Nordseite der Alpen, so drängt sich sofort die Beobachtung entgegen, dass im Westen die Gletscher weit stärker verbreitet waren als im Osten. In ganz regelmässiger Weise ist jeder östliche Gletscher kleiner als sein westlicher Nachbar, wie sich namentlich aus ihrer Verbreitung auf dem Alpenvorlande entnehmen lässt. Es überfluthete der Rhône-gletscher das ganze schweizerische Alpenvorland und den unteren Theil der Saoneebene; der Enns-gletscher im Osten hingegen trat gar nicht aus den Alpen heraus. Die eiszeitliche Vergletscherung der Alpen nahm auf der Nordseite des Gebirges an Intensität von Westen nach Osten ab, so lautet das wichtige Ergebniss. Zu gleichem Resultate aber gelangt man durch das Studium der heutigen alpinen Gletscher, welche in der Schweiz ungleich grossartiger als in Tirol entfaltet sind. Da reichen im Westen die Gletscher tiefer herab und werden weit länger als im Osten, und dem entsprechend ist das vereiste Areal in der Schweiz weit bedeutender als in Tirol. Sonach erscheint die alte eiszeitliche Vergletscherung nur als eine Steigerung der gegenwärtigen.

¹⁾ Nach freundlicher Mittheilung von Professor Dr. Friedrich Simony.

Auch die Südseite der Alpen besass während der Eiszeit mächtige Gletscher. Eisströme stiegen in den Thälern der Dora Riparia und Baltea herab und erfüllten das ganze Thalsystem des Tessin und der Adda, die gesammte Region der drei herrlichen oberitalienischen Seen, des Langensees, Luganer Sees und des Comer Sees erfüllend, wo heute eine subtropische Vegetation im Schutze der Alpen sich üppig entfaltet. Ein weiterer Eisstrom folgte dem Thale der Etsch und selbst- im Piave und Tagliamentothale zogen sich bedeutende Eismassen abwärts. Alle diese einzelnen Gletscher erreichten das von der Poebene gebildete südliche Vorland der Alpen, sie betraten dasselbe sogar, allein nur die beiden Nachbarn, Tessin- und Addagletscher, verschmolzen hier zu einer Masse, die übrigen erstreckten sich nur zungenförmig in die Poebene. Der ununterbrochene Eismantel, welcher den Nordfuss der Alpen von Genf bis Salzburg begleitete, fand auf der Südseite derselben kein Analogon, hier waren die einzelnen Gletscher nicht bedeutend genug, als dass sie derart hätten verschmelzen können. Die südalpinen Gletscher der Eiszeit waren nicht so grossartig entwickelt wie die nordalpinen. Das ist aber wiederum genau das gegenwärtige Verhältniss, und es lässt sich nun mit aller Sicherheit aussprechen: Die eiszeitliche Vergletscherung ist proportional der heutigen.

Diese Erkenntniss regt sofort die weitere Frage an, wievielmals grösser die eiszeitliche Vergletscherung war als die heutige. Nun könnte man zwar die gegen-

wärtig vergletscherten Areale mit den früher vereist
gewesenen vergleichen, man könnte in ähnlicher Weise
mit der früheren und gegenwärtigen Eismasse des Ge-
birges verfahren, allein weder der eine noch der an-
dere der angedeuteten Wege dürfte zu einem Ergeb-
nisse führen, das irgendwie auf die klimatischen Ver-
hältnisse der Eiszeit zu folgern gestattete. Hier heisst
es vielmehr einen ganz andern Gedankengang ein-
schlagen und zunächst sich fragen, was denn eigentlich
die Ursachen einer Vergletscherung sind. Die Antwort
hierauf lautet einfach und lakonisch: das Vorhanden-
sein von ewigem Schnee.

In jenen hohen Regionen, in welchen der jährlich
fallende Schnee nicht mehr weggethaut werden kann,
würde derselbe sich im Laufe der Zeiten zu schwin-
delnden Höhen aufthürmen, wenn dem nicht stetig
entgegengearbeitet würde. Solches aber geschieht durch
die Gletscher, dieselben sind die Abflüsse der Schnee-
region, sie sind wahre Eisströme. Der sich anhäufende
Schnee wird zu sogenanntem Firn, das heisst, aus den
Schneeflocken werden allmählig gröbere Schneekörner,
diese aber verfrieren miteinander zu Eis, welches in
Folge des auf ihm lastenden Druckes bergab fliesst und
dabei allmählig die structurellen Eigenthümlichkeiten
des Gletschereises annimmt. Die Existenz eines jeden
Gletschers setzt demnach das Vorhandensein eines
Firnfeldes, einer Fläche ewigen Schnees voraus, so ist
es gegenwärtig und so muss es zur Eiszeit gewesen
sein. Je grösser die Firnfelder sind, desto grösser wird

der Gletscher, welchen sie speisen. Die grossen eiszeitlichen Gletscher lassen demnach auf Firnfelder schliessen, welche die gegenwärtigen an Grösse bei Weitem übertreffen, und unter diesem Gesichtspunkte erscheint nun die Eiszeit als eine Periode, in welcher das Gebirge viel tiefer in das Bereich des ewigen Schnees reichte als gegenwärtig, als eine Zeit, in welcher die Schneegrenze tiefer lag als heute. Den Betrag nun, um welchen die eiszeitliche Schneegrenze tiefer lag als heute, hat Professor Friedrich Simony in höchst einfacher Weise zu messen gelehrt.

Da jeder Gletscher ein nährendes Firnfeld braucht, so müssen alle Erhebungen, von welchen einst Gletscher ausgestrahlt sind, in das Bereich des ewigen Schnees aufgeragt haben. Ihre Höhe muss also beträchtlicher sein als die der alten Schneegrenze. Andererseits ragten alle diejenigen Erhebungen, welche keine Gletscher erzeugten, nicht in das Bereich des ewigen Schnees hinein, ihre Höhe war demnach geringer als die der Letzteren. So lassen sich denn Berge unterscheiden, welche in das Reich des ewigen Schnees einst hineinstarnten, und solche, welche nicht in dasselbe tauchten. Je mehr Fälle nun in Betracht gezogen werden, desto mehr lassen sich die Grenzen, innerhalb derer die alte Schneelinie gelegen haben muss, einengen, und auf diesem Wege stellte sich heraus, das während der Eiszeit die Schneegrenze der Alpen 1200 bis 1300 Meter hoch lag, also 1500 Meter tiefer als heute, und zwar in einer Region, in welcher gegenwärtig der Laub-

wald sich in seiner üppigsten Pracht entfaltet, in welcher selbst auf der Nordseite der Alpen Feldwirthschaft noch möglich ist.

Diese tiefe Lage der Firnlinie gibt an und für sich schon zum Nachdenken Veranlassung. Es reichte ewiger Schnee bis in Höhen herab, wo heute mittlere Jahrestemperaturen von 4° Wärme herrschen. Nirgends aber auf der Erde findet man in so warmen Regionen heute irgendwo ewigen Schnee an, und schon allein aus diesem Verhältnisse lässt sich schliessen, dass während der Eiszeit andere Temperaturen geherrscht haben müssen als gegenwärtig. Allein völlige Klarheit hierüber erlangt man erst dann, wenn man nicht blos die Schneehülle des Gebirges, also die Schneegrenze während der Eiszeit, in Betracht zieht, sondern auch die Lage der Baumgrenze untersucht. Gleich etwa während der Eiszeit das Alpengebirge der heutigen patagonischen Westküste, wo unmittelbar an den Wald der ewige Schnee angrenzt, oder folgte unter der Schneegrenze die Alpenregion und erst viel tiefer die Baumgrenze? Ist bisher die Lage der alten Schneegrenze in den Alpen bestimmt worden, so ist es nun nöthig, auch die der Baumgrenze festzustellen, und konnte die erstere Aufgabe gelöst werden, so dürfte die Untersuchung der zweiten Frage nicht auf unüberwindliche Hindernisse stossen.

In der That bieten sich zwei Wege, sich derselben zu nähern, nämlich ein paläontologischer und ein pflanzengeographischer, und beide Wege führen zu demselben

Ergebnisse; sie lehren übereinstimmend, dass während der Eiszeit die Baumgrenze weit tiefer gelegen haben muss als die Schneegrenze, und dass sich zwischen beiden eine Alpenregion erstreckte. Spuren derselben haben sich nämlich bis tief herab nachweisen lassen. Im Schweizer und deutschen Alpenvorlande finden sich in etwa 400 Meter Meereshöhe Thonlager, welche Reste von Pflanzen der Alpenregion bergen, und welche daher innerhalb der Letzteren abgelagert wurden. Reichte während der Eiszeit der ewige Schnee in den nördlichen Alpen bis auf 1200 Meter herab, so erstreckte sich die Alpenregion bis auf mindestens 400 Meter Höhe, reichte also bis zum Fusse des Gebirges. Dass sie in der That sich bis hierher erstreckte, wird nicht bloß aus dem Vorkommen von fossilen Resten von Alpenpflanzen in dieser Höhe erwiesen, sondern geht auch namentlich aus dem Vorhandensein von Colonien noch lebender, für die Alpenregion charakteristischer Blumen auf dem Gebirgsvorlande hervor, die nur als die letzten Trümmer einer ehemals die ganze Vorlandzone bedeckenden Flora gelten können. Endlich aber lehrt ein Vergleich der alpinen und arktischen Flora, dass sich beide während der Eiszeit vermengt haben müssen, was nur dann möglich gewesen sein kann, wenn einerseits die Alpenflora von ihrer erhabenen Höhe herabgedrückt und andererseits die arktische Flora in tiefere Breiten verschoben war. Beide haben sich auf dem Alpenvorlande begegnet und sich hier mit einander vermischt, was Alles darauf hindeutet,

dass während der Eiszeit der ganze Nordfuss der Alpen aus der Baumregion aufragte.

Hiernach war während der Eiszeit der Fall eingetreten, dass in den Alpen Firn- und Baumgrenze zugleich verschoben waren, der Fall also, dessen Ursache oben in einer Minderung der Sommertemperaturen erkannt wurde; das Klima der Eiszeit dürfte daher im Wesentlichen durch kühle Sommer charakterisirt gewesen sein. Da sich nun überdies zeigt, dass die Entfernung von Schnee- und Baumgrenze während jener Periode gewiss nicht kleiner war, als sie es heute ist, so dürfte für Erzeugung der eiszeitlichen Zustände eine Aenderung in der Häufigkeit und Vertheilung der Niederschläge nicht sonderlich von Betracht gewesen sein; denn dadurch wäre entschieden die gegenseitige Lage von Firn- und Baumgrenze verschoben worden, was nicht geschehen ist. Vielfach wird zwar darauf hingewiesen, dass die Gesamtentwicklung der Gletscher besonders reichliche Menge von Schneemassen vorausgesetzt habe, und dass die riesigen Betten der Ströme, welche den alten Gletschern entsprungen sind, auf viel grössere Wassermengen zu schliessen gestatteten, als gegenwärtig in den Strömen circuliren.

Gewiss hat diese Betrachtung Mancherlei für sich; unbestreitbar ist die Thatsache, dass die alten Strombetten, welche die eiszeitlichen Flüsse bargen, unvergleichlich viel grösser sind als die gegenwärtigen, und dass man selbst Strombetten in Gegenden findet, welche heute des rinnenden Wassers fast völlig entbehren.

Allein keineswegs gesagt ist, dass deswegen auch die Niederschlagsmengen grössere gewesen seien als heute, denn aus der Grösse der Ströme lässt sich nicht ohne weiters auf die Menge der niederfallenden Wassermengen folgern. Regenarme Gebiete, wie z. B. Norddeutschland, erzeugen oft beträchtliche Wasseradern, während in anderen Gebieten, die weit mehr Niederschläge geniessen, Flüsse und Ströme gänzlich fehlen, weil hier alles den Erdboden benetzende Wasser verdunstet wird. Die Flüsse und Ströme bergen bloss diejenigen Niederschlagsmengen, welche nicht verdunsten, und selbst in unseren Ländern würde sich die Wassermenge der Ströme verdrei- und vervierfachen, wenn aller Regen in ihnen abfliessen würde und nicht zwei Drittel bis drei Viertel der Niederschläge verdunstete. Zur Eiszeit muss dieses Verhältniss nothwendigerweise anders gewesen sein, denn dies ist im Wesen der Gletscher selbst zunächst begründet.

Aller Schnee nämlich, welcher in der Schneeregion fällt, wird durch die Gletscher thalwärts geführt, und am Gletscher selber zehrt nur in geringem Masse die Verdunstung, vielmehr wirkt seine eisige Masse ähnlich wie die kalte Fensterscheibe im warmen Zimmer, sie beschlägt sich fortwährend mit Thau, wodurch reichlich ihr Verlust durch Verdunstung compensirt wird. Es wird daher im Gletscher die gesammte Niederschlagsmenge der Region des ewigen Schnees thalwärts bewegt, und zur Eiszeit müssen demnach alle die Niederschläge der centralen Alpen ungemindert

durch die Verdunstung an den Fuss des Gebirges befördert worden sein. Hier nun schmolz die eisige Gletschermasse und gab Strömen Ursprung, die weit bedeutender sein mussten als die jetzigen Alpenflüsse, welche die durch die Verdunstung geminderten Niederschlagsmengen bergen, und zwar entstanden diese Ströme gelegentlich an Stellen, an welchen heute kein Fluss fließen kann, weil die eisige Mauer fehlt, welche ihm Ursprung geben könnte. Indem sich am Rande der vereisten Gebiete die gesammte Gletschermasse in fließendes Wasser verwandelte, mussten hier zahlreichere und kräftigere Wasseradern entstehen, als gegenwärtig möglich ist, wo die Flüsse aus zahllosen Quellen im Innern des Gebirges entstehen und nur die Wasser bewegen, welche die Verdunstung übrig lässt.

Liegt so einerseits im Wesen der Vereisung begründet, dass die am Saume der alten Vergletscherungen entstehenden Ströme wasserreicher als gegenwärtig waren, so muss auch andererseits die Wassermenge der übrigen Flüsse gegenüber der heutigen eine beträchtliche gewesen sein, denn wenn sich das Klima der Eiszeit durch kühle Sommer auszeichnete, so muss deswegen schon allgemein die Verdunstung eine geringere gewesen sein als heute und demnach die Wassermengen der Flüsse beträchtlicher. So erscheint denn, ohne dass eine Mehrung der Niederschläge anzunehmen nöthig wäre, die Eiszeit als eine Periode kühler Sommer, während welcher die Gebirge weit tiefer als heute in das Reich des ewigen Schnees tauch-

ten, demnach grosse Gletscher erzeugten, und während welcher die Flüsse zugleich wasserreicher denn heute waren.

Unter diesem Gesichtspunkte lässt sich nun ein Bild der Alpen während der Eiszeit nicht blos in rohen Umrissen, sondern sogar in Einzelheiten zeichnen und ausführen, wie abweichend sich damals der Charakter des Gebirges offenbarte. Unnahbar war das Innere der Thäler, mächtige Gletscher erfüllten dieselben bis hoch über ihre heutigen Sohlen, in das Reich des ewigen Schnees tauchten alle die Kämme, welche die Thäler trennen. Unzugänglich war selbst der Fuss des nördlichen Gebirges, er war umlagert von einem mächtigen Eismantel, aus welchem die Vorberge als einzelne Inseln aufragten, meist bedeckt vom ewigen Schnee und nur selten besiedelt von den polsterbildenden Gewächsen der Alpenregion. Grosse Ströme brachen aus diesem Eismantel hervor, stark getrübt mit Gletscherschlamm und nach der Art der Gletscherströme im Sommer gewaltig anschwellend; dann überflutheten sie das umliegende Land, überschütteten dasselbe mit Geröll und schufen sich neue Betten, so dass sie ihren Lauf stetig änderten. Eine dürftige Flora bekleidete ihre Ufer, baar des Baumwuchses war das Land, es glich der sibirischen Tundra. Diese dürftig begrünte Fläche war aber durch eine eigenthümliche Fauna belebt. Sie wurde durchstrichen von Heerden des Mammuth und Rhinoceros, welche riesigen Dickhäuter sich durch einen wolligen Pelz vor der Ungunst des Klimas zu

schützen suchten; es eilten Schaaren von Renthieren über das Land, begleitet von Moschusochsen und anderen Thieren des hohen Nordens. Ein bleierner, fast stets bewölkter Himmel mag sich über diese Landschaft gewölbt haben, so dass sich grau in Grau die Scenerie dort zeichnete, wo heute am Nordfusse der Alpen sich schöne Wälder und wogende Kornfelder an den Ufern lieblicher Seen im hellen Sonnenscheine vor der zackigen, in vielen Farben erglänzenden Gebirgskette erstrecken.

So erschienen die Alpen zur Eiszeit; und was der Frage noch besonderes Interesse verleiht, ist der Umstand, dass nicht bloß einmal, sondern mehrere Male das Gebirge in dieser vergletscherten Gestalt erschien und in den Zwischenzeiten nicht nur eisfrei war, sondern auch mit Wäldern besiedelt wurde, die sich hoch herauf an den Berghängen erstreckten, so dass die Eiszeit nunmehr nicht bloß als eine einmalige Klimaänderung erscheint, sondern durch eine Wiederholung eigenartiger Klimaschwankungen charakterisirt wird. Zwischen den Moränen am Fusse des Gebirges nämlich lagern an vielen Stellen Kohlen mit Resten einer der heutigen entsprechenden Waldflora. Die Moränen nun beweisen eine Gletscherausdehnung, und diese muss durch eine Herabsenkung der Firnlinie verursacht gewesen sein, welche Hand in Hand mit einer Verschiebung der Baumgrenze ging. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Perioden dieser Art nun aber besiedelten Wälder den ehemaligen Gletschergrund, was nicht nur

ein Eisfreiwerden der betreffenden Stelle andeutet, sondern zugleich auch eine Verschiebung der Vegetationszonen beweist, die in umgekehrter Richtung erfolgte, wie zu den Zeiten grosser Eisausdehnung. Auf der ganzen Nordseite der Alpen hat man derartige Stellen kennen gelernt und aus denselben erweisen können, dass in der Zeit zwischen den aufeinanderfolgenden Vergletscherungen die Gletscher sich nicht nur bis in das Herz des Gebirges zurückgezogen hatten, sondern dass Wälder dem schwindenden Eise folgten und mindestens bis zu 1200 Meter Höhe die Alpen bedeckten.

Periodisch alsokehrten während der grossen Eiszeit die Vergletscherungen wieder, nicht blos einmal, sondern mehrmals schoben sich die für das Gebirge charakteristischen Linien abwärts und wieder aufwärts, mehrmals wechselte das Klima, und das ist die grosse und wichtige Erkenntniss, welche namentlich das Studium der Eiszeit in den Alpen für die sogenannte Klimatologie liefert, dass das irdische Klima periodischem Wechsel unterworfen ist, welcher vor Allem in Schwankungen der sommerlichen Wärme besteht, ohne dass sich jedoch zur Zeit mit Bestimmtheit sagen liesse, wie weit diese Temperaturschwankungen das ganze Jahr betroffen haben. Ist nun aber einmal die Periodicität der Erscheinung erkannt, so ist wohl auch deren Wiederkehr zu fürchten. So lange, als die Ursachen der Eiszeit unbekannt sind, kann die Klimatologie leider keine Antwort auf diese ängstliche Frage bieten; und furchtsame

Gemüther müssen sich mit einer unbestimmten, aber glücklicherweise erfreulichen Antwort trösten, welche wiederum das Studium der Eiszeit in den Alpen gewährt. Seit der letzten Vergletscherung ist nach den Vorgängen, welche seither stattgefunden haben, zu urtheilen, weit weniger Zeit verstrichen als zwischen der letzten und vorletzten Vereisung, und wenn eine Wiederholung der alpinen Vergletscherung zu muthmassen ist, so dürfte dieselbe wahrscheinlich erst in sehr entlegenen Zeiten erfolgen.

Wenn aber dieser Trost nicht genügen sollte, wenn man selbst einen in weiter Ferne bevorstehenden klimatischen Wechsel als verderblich für das Menschengeschlecht dahinstellen wollte, so möge man beherzigen, dass der Mensch Zeuge der Eiszeit war, dass er das Mammuth vor den alpinen Gletschern jagte und schon in der Zeit zwischen der letzten und vorletzten Vereisung das Vorland der Alpen besiedelte. Er sah die letzte Vergletscherung kommen und gehen, und wenn er auch derselben auswich und derselben folgte, so führte doch das grosse klimatische Ereigniss nicht zur Ausrottung seiner Art. Vielmehr liegt nahe, in dem mehrfachen klimatischen Wechsel, welchen das Menschengeschlecht erlebte, einen Factor zu erblicken, der für die Gesamtentwicklung von Bedeutung war. Gezwungen, einer steten Veränderlichkeit äusserer Umstände sich anzupassen, musste sich der Erfahrungsschatz des jungen Geschlechtes rasch mehren, und mochten die Einen vor dem hereinbrechenden klimati-

schen Wechsel fliehen und neue Wohnplätze sich aufsuchen, so mochten die Anderen vielleicht sich gegen den neugeschaffenen Zustand schützen lernen, und so kann denn die grosse Eiszeit als eine Periode aufgefasst werden, während welcher die frühesten Wanderungen und die ersten Anfänge der Cultur des Menschengeschlechtes gebieterisch von der Natur bedingt wurden. Mit solchem Gesichtspunkte zurückblickend auf die Eiszeit in den Alpen, erkennt der Laie in derselben einen Theil eines wichtigen grossen Ereignisses, das fördernd eingriff in die Entwicklung des Menschengeschlechtes, der Fachmann aber weiss, dass das Studium der Eiszeit in den Alpen die Grundsteine für die ganze wichtige Eiszeitfrage überhaupt legte, und ihm ist die Eiszeit in den Alpen ein Prototyp der Eiszeit in anderen Gebieten.
