

III. Abhandlungen.

Erörterungen über den Zusammenhang der climatischen Zustände
der letzten drei Erdperioden
(Tertiär, Quartär und Gegenwart).

Von J. Probst, Pfarrer in Essendorf.

Seitdem es gelungen ist, die Fauna und Flora der Vorwelt so zu entziffern, dass eine Vergleichung derselben mit der lebenden möglich ist, hat die Frage sich von selbst aufgeworfen; was für climatische Verhältnisse müssen in den verschiedenen Erdperioden geherrscht haben? Dass nicht eine gleichmässige und allmählig fortlaufende Bewegung der climatischen Scala stattgefunden habe, ergab sich sogleich, sobald die quartäre Periode, die sogenannte Eiszeit genügend untersucht war. Die hauptsächlichste Kluft in der Bewegung der Temperatur fand man zwischen dem Clima der Tertiärzeit und der Quartärzeit; aber auch noch zwischen letzteren Perioden und der Gegenwart. Verschiedene Hypothesen sind aufgestellt worden, um diese unlängst Thatsachen zu erklären. Wir verweisen in Betreff der älteren auf Agassiz, Untersuchungen über die Gletscher S. 255; Cotta, Geologie der Gegenwart, 4. Auflage S. 337 und Sartorius von Waltershausen, S. 98 und 158. Auf die neueren werden wir im Verlauf unserer Darstellung (im VIII. Abschnitt) zu sprechen kommen.

In neuester Zeit sind zwei Werke von ganz hervorragender Bedeutung erschienen, wovon das eine sich die Lösung der climatischen Frage in ihrem ganzen Umfang zur Hauptaufgabe macht, das andere zwar über fossile Pflanzen sich verbreitet, aber eben damit die wichtigsten Fragen über climatische Verhältnisse in seinen Bereich zieht.

Sartorius von Waltershausen * spricht in seinem Werke über die Bedingungen, von denen das Clima eines Ortes abhängt, sich so aus: (S. 111)

1. von der Meereshöhe,
2. von seiner geographischen Lage,
3. von der Art der Vertheilung von Land und Meer auf der Erdoberfläche,
4. von dem Feuchtigkeitszustande, der Wolkenbildung und von der Grösse der atmosphärischen Niederschläge,
5. von den Strömungen der Luft und denen des Meeres,
6. von der innern Erdwärme. —

Er nimmt das Seeclima der Erde in der Gegenwart als Ausgangspunkt und berechnet, unter vorsichtiger Berücksichtigung der eben angeführten Factoren, die jeweiligen Climate der verschiedenen Erdperioden ** auf Grundlage von Fouriers Wärmetheorie.

Auf einen wesentlich verschiedenen Standpunkt stellt sich Professor Dr. Heer in seiner Polarflora. *** Er beobachtet sozusagen direct das Clima der verschiedenen Erdperioden, hauptsächlich der Tertiärzeit auf der wichtigsten climatischen Station, in den arctischen Ländern, in der Weise, dass er die dortigen fossilen Pflanzen und Thiere zu Rathe zieht unter fortwährender Vergleichung mit der Quartärzeit und besonders der Gegenwart.

Der Schwerpunkt der Frage liegt in dem Clima der Tertiärzeit. Diese Formation ist hinlänglich untersucht und die climati-

* Untersuchungen über die Climate der Gegenwart und der Vorwelt mit besonderer Berücksichtigung der Gletschererscheinungen in der Diluvialzeit. Haarlem 1865.

** l. c. p. 156.

*** Flora fossilis arctica I. Zürich 1868; II. Winterthur 1871.

schen Ansprüche ihrer Organismen lassen sich ermitteln. In den noch älteren Formationen sind die Vergleichungspunkte unsicher, weil der Character der Pflanzen und Thiere zu fremdartig ist.

Die Resultate, welche die beiden genannten Gelehrten gewinnen, gehen aber sehr weit auseinander. Eine Zusammenstellung, welche wir nach Heer (Polarflora I. S. 72) geben, drückt den Contrast aus.

Mittlere Jahreswärme des Tertiärclimas	Von Heer aus den Pflanzen berechnet	Von Sartorius berechnet
In der Schweiz in 47° nörd. Br.	21° C.	$12^{\circ}, 93$ C.
In Grönland in 70° nörd. Br.	9° C.	$4^{\circ}, 11$ C.
In Spitzbergen in 78° nörd. Br.	$5^{\circ}, 5$ C.	$2^{\circ}, 36$ C.

Nach später erhaltenen Pflanzen von Spitzbergen ist die Temperaturangabe für jene Gegend zur Tertiärzeit noch etwas zu niedrig, und um c. 1° C. zu erhöhen (Heer l. c. II. Abth. Spitzbergen, S. 17).

Heer bemerkt (l. c. I. p. 73), dass die Flora des Tertiärlandes in keiner Weise in den Rahmen der Berechnungen von Sartorius passe und speziell (S. 76): „Es hat gegenwärtig Reikiawig in Island bei $64^{\circ} 8'$ nördlicher Breite gerade die mittlere Jahrestemperatur, welche Sartorius für die miocene Periode bei 70° n. B. annimmt. Allerdings ist der kälteste Monat um 1° kälter, dagegen der Sommer viel wärmer, indem der wärmste Monat um 4° höher steht. Also wäre das jetzige Island für die Waldvegetation viel günstiger gelegen, als das miocene Nordgrönland bei 70° n. B., wie es Sartorius für diese Breite berechnet hat. Wenn wir nun aber die miocene Flora von Nordgrönland, wie sie uns in den fossilen Pflanzen vor Augen tritt, mit der jetzigen von Island vergleichen, muss jedem der immense Unterschied im ganzen Character der Pflanzewelt auffallen, und wir werden finden, dass es keinen Punkt auf

der Erde gibt, der jetzt unter diesen Breiten ähnliche Pflanzenformen aufweisen kann.“

Dieses Resultat wird auch durch die Untersuchung der fossilen Insecten von Spitzbergen bestätigt (l. c. II. Abth. Spitzbergen, S. 17).

Sartorius bemerkt gegen Heer und die Botaniker: „mit der Wärmetheorie sind die Temperaturschätzungen der Botaniker nicht zu vereinigen“ (l. c. p. 329).

Er sucht die aus den Pflanzen erschlossene Wärme des Tertiärclimas abzuminderu (l. c. p. 330), wogegen jedoch Heer entschieden Protest erhebt (l. c. I. p. 75, Not. 2). Wir gestehen, dass der Totaleindruck der Heer'schen Arbeit, die ganz im Einklang mit den übrigen Botanikern* Unger, Ettingshausen etc. sich befindet, ein überwältigender und überzeugender ist.

Der Stand der Frage nach den climatischen Verhältnissen der Vergangenheit darf somit als ein zur Zeit recht unbefriedigender bezeichnet werden.

Dessungeachtet ist nicht zu verkennen, dass durch diese gewissenhaften und gründlichen Bearbeitungen recht Vieles aufgehellt worden ist. Bei dem heutigen Stand der Sache kann sich ein Bearbeiter jedenfalls darüber Klarheit ** verschaffen, vor welchen Irrwegen und Ausschreitungen er sich hüten muss, und welche Ziele er erreichen muss; mit andern Worten, die Bearbeitung dieser Frage muss sich vor physikalischen Unmöglich-

* Cf. Bronn: Untersuchungen über die Entwicklungsgesetze S. 200.

** Sartorius verlangt auf S. 199 mit Recht folgende Punkte, denen Genüge geleistet werden muss:

»1. Eine für unsren Zweck aufzustellende Hypothese muss zunächst der Theorie der Erdwärme vollkommen Genüge leisten und darf gegen keins der allgemein anerkannten physikalischen Gesetze verstossen.

2. Die Entwicklung in der Organisation darf in ihrem Fortschreiten, wie es durch das Einschieben der Eiszeiten geschieht, nicht allgemein sondern nur local gestört werden.

3. Die aus einer solchen Hypothese gezogenen Folgerungen müssen leicht und klar zu übersehen sein, ohne dass sie den Leser in ein dunkles Labyrinth nebliger Vorstellungen führen, in dem jede wissenschaftliche Untersuchung aufhört.

keiten und unerweisbaren Hypothesen hüten und muss den gemachten Beobachtungen (aus den fossilen Pflanzen etc.) genügen.

Der wichtigste Kern der Aufgabe wird sein, dass die enormen Schwankungen des Climas innerhalb der drei letzten Erdperioden (Tertiär, Quartär und Gegenwart) aus einem und demselben Gesichtspunkte motivirt werden. Eine Erklärung, die sich einseitig darauf beschränkt, das Quartärcima für sich allein zu beleuchten, muss bei dem gegenwärtigen Stand der Frage als ungenügend betrachtet werden. Den Uebergang des quartären Climas zum gegenwärtigen mit Gründen zu unterstützen (z. B. das Auftreten des Föhn für die Alpen) ist verdienstlich, aber ungenügend, nicht blos wegen der beschränkten Anwendbarkeit nur auf die Alpen, sondern noch mehr, weil das Quartär- und Tertiärcima selbst ganz ausserhalb der Gränzen der Untersuchung bleibt. Wir glauben, dass sich eine innere Garantie der Richtigkeit der Auffassung der climatischen Frage nur dann erringen lässt, wenn es gelingt, einen Gesichtspunkt zu gewinnen, von dem aus, vorwärts und rückwärts, die Climate der sämmtlichen drei Erdperioden ein Licht empfangen.

Wenn wir nun diesen Versuch wagen, so müssen wir vor Allem davon abgehen, das gegenwärtige Clima als das Normalclima für alle andern Erdperioden zu betrachten. Auf diesem scheinbar, aber auch nur scheinbar, directen und natürlichen Wege werden die Schwierigkeiten sich nicht lösen lassen. Es ist aber auch nicht der natürliche Weg; denn das heutige Clima der Erde

4. Es wird verlangt, dass die Beobachtungen ohne Hilfe grosser Revolutionen erklärt werden, so dass die Vorgänge in der Diluvialperiode auf der einen Seite an die der Tertiärzeit, auf der andern an die der Gegenwart sich continuirlich anschliessen.

5. Die neue Hypothese soll in derselben Weise nicht nur für die Erscheinungen in der Schweiz, sondern auch für alle ähnlichen Gegenden der Erde volle Anwendbarkeit besitzen, und bei diesen letzten dürfen keine neuen Hypothesen zu Hilfe genommen werden.

Wir möchten nur noch ergänzend hinzufügen, dass die aufzustellende Hypothese die Controle der Paläontologie ertragen muss.

ist nicht das erste Glied in der Reihe der climatischen Aenderungen, sondern das letzte und als solches das in sich noch unaufgehellte Resultat der ungeheuren Schwankungen zwischen Tertiär- und Quartärclima, das erst aus letzteren seine Erklärung finden soll. Der wirklich natürliche Weg wird somit der sein, dass wir das Tertiärclima, wie die Beobachtungen von Heer dasselbe dringend empfehlen, zunächst als gegeben anerkennen; sodann wird der Wärme absorbirende Factor darzustellen sein; sodann das Clima der Gegenwart, als von diesem Wärme absorbirenden Factor der vorhergehenden Zeit noch wesentlich beeinflusst, aufzuhellen sein; damit beleuchtet sich dann der Ueberschuss der Wärme des Tertiärclimas im Verhältniss zum heutigen Clima.

I. Vorbereitungsstadium der Veränderung des Clima.

Die geognostische Beschaffenheit der arctischen Länder ist aus naheliegenden Gründen nur an den Küstenstrichen bekannt. Ueber dieselben theilt Heer (l. c. I, p. 4) interessante That-sachen mit (nach Riek). Die Grundlage von Grönland ist Gneiss. Auf diesem ruhen in Nordgrönland tertiäre Schichten, theils sehr mächtige vulcanische Tuffe, theils Braunkohlenlager, theils eisen-haltige Sandsteine. Die vulcanischen Tuffe erreichen theilweise eine Mächtigkeit von 2000—3000'; die verschiedenen tertiären Schichten wechsellagern miteinander. Auf der Insel Disko und Halbinsel Noursoak die gleichen Verhältnisse; auf Noursoak erheben sich 5000—6000' hohe Berge.

Während die tertiären Schichten eine so beträchtliche Mächtigkeit zeigen, sind die Schichten aus älteren Formationen schwach vertreten. Auf der Melvilleinsel und Bäreninsel wurden Steinkohlen, auf Spitzbergen auch andere Formationen gefunden, doch herrschen auch hier die tertiären Schichten vor. Sonst ist noch die Kreideformation im Schieferthon zu Komen und auf der Halbinsel Noursoak (Vorrede zum II. B. der Polarflora) gefunden; auf Spitzbergen auch eine posttertiäre Ablagerung (Mytilusschicht) bekannt geworden.

Aus dieser Uebersicht ergibt sich, dass die Oberflächenverhältnisse der arctischen Länder zur Tertiärzeit eine ganz wesentliche Veränderung erlitten haben. Da die absolute Mächtigkeit der ausgeworfene vulcanischen Tuffe 2000—3000' beträgt und wie es scheint auf der Halbinsel Noursoak noch mehr, so muss man auf eine höchst energische vulcanische Thätigkeit in jenen Gegenden schliessen, welche mächtige Veränderungen in den Reliefverhältnissen jener Länder hervorbringen musste. Der Boden der arctischen Länder, die bis zur Tertiärzeit einen geringen Zuwachs an Schichtenmaterial aufweisen, wird durch gewaltige Tertiärschichten vulcanischen und wässerigen Ursprungs erhöht, und seine Oberfläche durch vulcanische Thätigkeit verändert. Bei dieser ungewöhnlich starken positiven Vermehrung des Schichtenmaterials in Verbindung mit vulcanischer Thätigkeit, lässt sich ohne alle Wagniss behaupten, dass auf dem arctischen Continent sich zur Tertiärzeit Gebirge erhoben haben müssen, welche die Gränze des ewigen Schnees erreichten und überragten. Für die Temperatur des damaligen (miocenen) Grönlands mit 9° C. im mittleren Jahresdurchschnitt mag sich die Schneelinie bei 6000—8000' Höhe eingestellt haben.*

Das war aber ein folgenschweres Ereigniss für das Clima zunächst Grönlands. Während in der Niederung noch die Tertiärpflanzen vegetirten, legte sich auf der Höhe des Gebirgs der Schnee nieder, um auch im Sommer nicht mehr zu weichen. Die in der Niederung wachsenden Pflanzen wurden für den Anfang durch diese Erscheinung nicht wesentlich beeinträchtigt, und mögen noch lange Zeit fortexistirt haben.

Aber nachdem die Anfänge der Linie des ewigen Schnees sich festgesetzt hatten, konnte diese Linie nicht mehr verwischt werden; sie war dem Einflusse der Wärme entzogen; der dort angehäufte Schnee war dem Kreislaufe des Wassers entrückt. Der Schnee über der Schneelinie war den bisher gültigen climatischen Verhältnissen gegenüber exterri-

* Cf. Sartorius l. c. p. 113 u. ff. und Heer, Urwelt der Schweiz S. 478.

torial geworden; die Wärme vermochte ihm Nichts anzuhaben; eben dadurch gewann er die Macht, von sich aus Störungen, sehr tief gehende Störungen in den bisherigen climatischen Verhältnissen hervorzurufen.

Diese Gestaltung der Dinge müssen wir als die wichtigste Grundlage für die Veränderung des Climas, zunächst Grönlands, aber auch des Climas der Erde im Allgemeinen möglichst markieren. Verfolgen wir den Hergang weiter.

Der über der Schneelinie fallende Schnee sammelt sich von Jahr zu Jahr und von Jahrhundert zu Jahrhundert an; er nahm an Mächtigkeit stetig zu ohne Einbusse. Gleichzeitig bestrebte sich die Schneelinie tiefer nach unten auszubreiten. Eine Schneemasse, die durch Jahrhunderte stetig anwächst, hält auch nicht mehr die Gränze nach unten haarscharf ein, sondern sucht nach unten hin eine breitere Basis zu gewinnen und in einem gewissen Verhältnisse zu ihrem Wachsthum nach oben, auch nach unten vorzudringen. Unter solchen Umständen wird die Ansammlung des Schnees immer grössere Fortschritte machen müssen und durch ihre Masse und das allmählige Herabsteigen der Schneelinie immer mehr an Terrain gewinnen und damit auch an Bedeutung für die Aenderung des Climas. Wenn anfänglich die in der Niederung Grönlands wachsenden Tertiärfpflanzen nur wenig von der sich bildenden Schneelinie zu leiden hatten, so wurde doch im Laufe der Zeiten, je tiefer sich die Schneelinie herabzog und je gewaltiger die aufgehäuften Schneemassen wurden, der Einfluss immer empfindlicher.

Wir müssen jedoch hier den möglichen Einwänden gegen unsere Auffassung von der Nothwendigkeit der Ansammlung der Schneemassen entgegentreten. Man könnte sagen, dass eine Aufspeicherung des Schnees überhaupt nicht möglich sei, weil der Schnee in Form von Gletschern seinen regelmässigen Abfluss habe.

Das ist heutzutage gewiss richtig. Der Firn fliesst in unsern Gebirgen ab Jahr um Jahr, weil ein System von Abzugswegen aus den Schneewüsten durch die hohen Gletscherthäler bis in die Flussthäler herab besteht. Allein dieses System von

Abzugswegen war sicher nicht von Anfang an gebahnt und vorhanden. Denn wir mögen ein Gebirg uns gebildet denken, wie wir wollen, sei es, dass dasselbe sehr langsam oder weniger langsam, dass es durch positiven Schichtenzuwachs (vulcanische Tuffe, wie in Grönland) oder durch Dislocation der schon bestehenden Schichten (Alpen) sich bildete, — so können wir unmöglich annehmen, dass die Wege zur Abfuhr des Schnees vom Centrum des Gebirgs bis zur Ebene an seinem Fusse, oder bis zum Meer, gleichzeitig fertig waren. Und darauf kommt es an. Unebenheiten auf dem Gebirg selbst mögen überall und jederzeit bestanden haben, aber diese sind kein fertiges gangbares System von Abzugswegen für den Schnee. Gerade diese Unebenheiten bringen den Transport ins Stocken.

Vor Allem ist hier der prinzipielle Unterschied zwischen Längsthälern und Querthälern hervorzuheben. Gebirge, die in Kettenform erhoben sind, wie die Alpen, haben schon von Anfang an Längsthaler von bedeutender Erstreckung. Aber die Richtung dieser Längsthälter ist der Natur der Sache nach nicht geeignet, den Schnee aus dem Gebirg hinauszuschaffen. Der Schnee kann in der Richtung der Längsthälter sich voranbewegen, soweit dieselben offen sind, aber damit ist er immer noch innerhalb des Gebirges.

Keiner der mächtigen Gletscher der Vorzeit ist aus einem Längsthal der Alpen herausgebrochen, sei es am Nord- oder Südabhang. Der alte Rhein- und Rhone-Gletscher erstrecken sich allerdings von Chur und Martinach an hoch hinauf in das alte Längsthal der Alpen; aber auf diesem Wege war es nicht möglich, das Gebirg zu verlassen. Von den genannten Localitäten weg, biegen dieselben in Querthälter ein und auf diesem Weg erst erreichten sie die Ebene. Mit dem ursprünglichen Bestand der Längsthälter mag die Erscheinung im Zusammenhang stehen, dass hoch in den Alpen ein Horizont sich findet, der niemals bleibend mit Eis bedeckt war und die Erscheinungen der Eisbewegung nicht zeigt.* Eine Bedeckung mit

* Cf. Rütimeyer, Thal- und Seebildung, S. 17.

Schnee ist jedoch damit nicht ausgeschlossen, sondern selbstverständlich.

Einen Gegensatz zu den Längsthälern bilden die Querthäler, wie die eben citirte lehrreiche Schrift von Prof. Rütimeyer mit den trifligsten Gründen nachweist. Die letzteren sind jünger, nicht schon ursprünglich mit der Hebung des Gebirgs gegeben, sondern durch die ausfressende Gewalt der fliessenden Wasser gebildet. Ihre Bildung ging nicht von oben nach unten, sondern von unten nach oben vor sich. (Cf. Rütimeyer l. c. p. 36 und an andern Orten.) Mit der Auswaschung geht Hand in Hand die Verwitterung. Auch hier ist constatirt, * dass die Verwitterung der Berge im ersten Stadium nicht von oben nach unten, sondern von unten nach oben vorschreitet.

Im kleinen Maassstabe bietet sich wohl überall, nicht blos im Gebirg sondern auch im Hügelland reichliche Gelegenheit, sich von dem Vorrücken der Querthäler von unten nach oben durch eigenen Augenschein zu überzeugen. Die Höhenzüge im Württ. Oberschwaben werden quer an beiden Seiten von einer grossen Anzahl sogenannter „Tobel“, schmaler Thäler durchfurct, welche ganz jungen Ursprungs und immer noch im Wachsen begriffen sind. Diese Thäler setzen sich sichtlich von unten nach oben fort und lassen sich hier die Gesetze der Thalbildung, wie sie in den Hochgebirgen erkannt worden sind, mit Sicherheit und Leichtigkeit wiedererkennen.

Unterdessen, bis ein Querthal bis zum centralen Kamm des Gebirgs, bis zur Schneelinie hinauf sich eingenagt hat, vergeht Zeit, auch wenn die Schneelinie tief sich herabgezogen hat. Selbstverständlich kann die nagende Gewalt des Wassers doch niemals weiter als bis zur unteren Gränze des ewigen Schnees hin gelangen, weil ja die Schneelinie, die Linie, bei welcher das Wasser nur in der festen Form bestehen kann, der nagenden Gewalt des Wassers eine absolute, nur nach den Jahreszeiten in kleinen Gränzen schwankende Schranke setzt. Während nun die

* Cf. Albert Heim: Einiges über die Verwitterungsformen der Berge. Zürich 1874. S. 13 u. 26.

Flussläufe sich von unten herauf durcharbeiten und eine Bahn zu brechen sich bemühen, muss der Schnee sich oben ansammeln. Die fliessenden Gletscher, welche den ewigen Schnee abführen und demselben heutzutage nicht gestatten, sich stetig anzusammeln, sind keine uranfängliche Erscheinung des Gebirges, sondern erst in einer späteren Periode desselben ins Leben getreten, von der wir im II. Abschnitt sprechen werden.

Wir stellen uns nicht vor, dass der Abfall der Gebirge ursprünglich ganz geradlinig und scharf, wie mit dem Lineal gezogen, sich dargestellt habe. Die Bergfront wird von Anfang an im Einzelnen unregelmässig und buchtig gewesen sein. Die buchtigen Stellen, die ursprünglichen Terrainfalten mögen für die Bildung der Anfänge der Querthäler die geeignetsten Stellen gewesen sein. Hier convergirten die Wasserfäden, die beim Regen sich bildeten und gewannen die Kraft, das Erdreich zu durchfurchen. Aber die grossen tief einschneidenden, das ganze Gebirge zerreissenden Querthäler selbst bestanden sicher nicht von Anbeginn des Gebirgs. An den Alpen lässt sich das mit Bestimmtheit nachweisen. Selbst die jüngsten Schichten der Molasse gehen nicht in das Rheinthal oder Rhonenthal etc. hinein, wie sie doch thun müssten, wenn diese Querthäler schon vor der Ablagerung der Molasse vorhanden gewesen wären. Sie lagern am äussersten Rand des Gebirges, sind wie das übrige Gebirg durchbrochen worden und setzen in fast auffallend geradliniger Flucht an den tiefsten Thaleinschnitten vorüber, ohne von ihnen beeinflusst zu werden. Das lehrt ein oberflächlicher Blick auf die geognostische Karte. — Die Durchfurchung des Gebirgs in die Queere fängt unten am Abhang an, und setzt sich von da schrittweise gegen den Kamm desselben fort. Der die Gewässer scheidende Kamm ist der letzte Rest, der den einstigen geschlossenen Zusammenhang der Gebirgsschichten noch bis in die Gegenwart bewahrt hat, während die weiter nach aussen und unten liegenden Gebirgstheile von den fliessenden Wassern durchnagt wurden; je weiter nach unten und aussen, desto früher, je mehr nach innen und oben, desto später.

Man könnte weiter einwenden, dass in Ermangelung der

Gletscher die Lawinen die Abfuhr des Schnees besorgten. Das ist an steilen Gehängen möglich, und heutzutage finden sich im Gebirge überall steile Abhänge, aber nur in Folge der Thalauswaschungen, die das Gebirg zerschneiden. So lange diese Thäler nicht vorhanden waren, war den Lawinen nur ein beschränktes Feld am Rand des Gebirgs eingeräumt; und auch die hier stürzenden Lawinen werden hauptsächlich nur dazu beigetragen haben, den natürlichen Böschungswinkel herzustellen und, dass die Schneelinie selbst um so weiter in grössere Tiefen hinabstieg. Eine Entlastung des Gebirgs von seiner aufgehäuften Schneelast konnte auf diesem Wege nicht stattfinden. Der Querdurchmesser eines Gebirgs bietet eine so breite Basis dar, dass hier für die allergrösste Ansammlung des Schnees auf seinem Rücken Raum genug ist. Nehmen wir den Queerdurchmesser der Alpen zu ungefähr einem Breitegrad an = 15 geographische Meilen à 24000' und den natürlichen Böschungswinkel des Schnees zu 45^0 , so vermag sich auf dieser Basis eine ganz enorme Masse Schnee aufzuthürmen. Bei den angenommenen Verhältnissen wird man leicht berechnen können, dass auf der Basis des Alpengebirgs ein Prisma von Schnee aufgeschüttet werden konnte, dessen obere Kante sich bis in eine Höhe von 180,000' zuschärfen konnte. Das ist so gewaltig, dass hierdurch alle, auch die höchsten Anforderungen, die man stellen kann, überboten werden. Selbstverständlich ist hier nur die mathematische Möglichkeit bezeichnet; die Frage, ob in solchen Höhen überhaupt noch Niederschläge sich bilden können, lassen wir beruhen, da sie einen practischen Werth für uns nicht haben kann.

Die Abminderung des Schnees durch Verdunstung brauchen wir kaum zurückzuweisen. Mag auch dieselbe keineswegs ganz unbedeutend sein, so ist der jährliche Zuwachs viel beträchtlicher als der Abgang und der übrig bleibende Rest muss sich ansammeln.

Durch solche Ansammlung, wenn sie auch nur durch einige Jahrhunderte sich ungestört fortsetzt, müssen riesige Schneemassen aufgespeichert werden.

Wir fassen somit die Gebirge nicht blos als Condensatoren der Wasserdünste auf; das sind sie, aber sie sind es auch heutzutage noch, ohne dass dadurch ein Eiszeitclima hervorgerufen wurde. Wir finden die entscheidende Bedeutung der Gebirge für die Aenderung des Climas darin, dass sie für Aufspeicherung des Schnees eine breite und sichere Basis darboten, welche nicht nur der Wärme unzugänglich war, sondern zunächst auch alle andern Einflüsse, welche eine Abminderung hätten bewirken können, ausschloss.

Kehren wir nun zu den Nordpolarländern zurück.

Die Ansammlung des Schnees auf dem jungen undurchfurchten grönlandischen Gebirge musste schon in diesem Stadium eine, wenn auch nicht sehr grosse, aber immerhin fühlbare Erniedrigung der Temperatur hervorrufen. Es ist vielleicht nicht ganz zufällig, sondern damit in Zusammenhang zu bringen, dass nach dem Bericht Nordenskiölds bei Heer (l. c. II. Abth. Spitzbergen, S. 18. 19) nur die unteren tertiären Schichten von Bell-sund zahlreiche Pflanzenreste einschliessen, während die darüber liegenden 1000—1200' mächtigen tertiären Schichten nur noch sparsame Pflanzenreste aufweisen. Sei dem wie ihm wolle; eine allmähliche Verdrängung der bestehenden Flora durch den erkältenden Einfluss der Schneeansammlung konnte nicht ausbleiben.

Halten wir nun aber weiter Umschau, so treten nicht blos in den arctischen Ländern beträchtliche Oberflächenveränderungen zur Tertiärzeit ein, sondern weithin auf der ganzen Erde. Die höchsten Gebirge der Erde sind die jüngsten. In die Tertiärzeit fällt die Erhebung der Alpen und Pyrenäen, des Caukasus und Himalaya und der Cordilleren. Aber auch die Gebirge des grossen antarctischen Continents fallen mit grösster Wahrscheinlichkeit in den nämlichen Zeitraum. Fossile Pflanzen und Thiere, welche für die Altersbestimmung und climatische Kenntniss der Nordpolarländer so viel Licht gegeben haben, fehlen von den antarctischen Ländern fast ganz. Doch wurden auf der Kerguelen-Insel Baumstämme in versteinertem und verkohltem Zustande gefunden, während heutzutage dort Bäume und Sträucher ganz fehlen. Bei der fast absoluten Unnahbarkeit des eigentlichen

antaretischen Continents ist auf eine Ausbeute an Fossilen von dort nicht zu hoffen. Aber es war doch möglich, die Gesteine, aus denen die senkrechten Felswände bestehen, zu erlangen und die Beschaffenheit dieser Mineralien begründet zuverlässig den Schluss, dass auch die Gebirge des antarctischen Landes nicht älter, als Tertiär seien. Die eruptiven Gesteine des Trachyts und Basalts, welche für die Tertiärformation bezeichnend sind,* finden sich mit Lava in so grossen Massen, dass sie selbst den Nordpolarländern noch voranzugehen scheinen. Wir entnehmen eine Beschreibung der geognostischen Verhältnisse aus dem Handbuch der Erdbeschreibung von Schneider ** „das Festland Süd-Victoria von Sir James Ross 1841 unter dem 71° südlicher Breite und 171° östlicher Länge entdeckt, bekundete schon aus weiter Ferne den vulcanischen Character desselben, der auf dem Südcontinent vorherrschend zu sein scheint. Die Küste steigt steil in einem mächtigen Gebirgszuge auf. Pick thürmt sich an Pick in ewigen Schnee gehüllt; einer derselben wurde gemessen mit 7867', ein anderer mit 9096', ein dritter mit 8444' über dem Ocean. Die ins Meer steil abfallenden Felsenwände, an denen weder Schnee noch Eis haften können, bestanden durchweg aus schwarzer Lava und Basalt. Die kleine vorliegende Possessions-Insel besteht aus vulcanischem Conglomerat, Blasenlava und Basalt und enthielt eine der Fingalshöhle ähnliche kleine Basalt-höhle am Meeresstrand. Der nördlichste Küstenpunkt wurde Nordcap genannt. Auch weiter nach Süden zog ein hohes Gebirg mit 12000—14000' hohen Gipfeln, von denen der höchste Herschel genannt wurde. Noch weiter südlich unter 77° südl. Breite wurde der riesige ununterbrochen thätige Vulcan Erebus entdeckt; vom 12367' hohen Gipfel bis zum Fuss ganz mit Schnee bedeckt, entstieg seinem Krater eine schwarze Rauch-säule 1500—2000' hoch und 200—300' dick. An den Erebus schliesst sich der Terror, ein erloschener Vulcan mit 10880', an.“

Schon aus diesen Thatsachen geht hervor, dass der Südpol an energischer vulcanischer Thätigkeit hinter den Nordpolarländern

* Cf. Naumann. Lehrbuch der Geognosie III. Bd. S. 294.

** II. Band S. 823.

nicht zurückgeblieben ist. Wir müssen die gewaltigen Gebirge des südlichen Continents den jungen Gebirgen der Erde zuzählen. Alles, was wir von den im Gefolge der grönlandischen Gebirgs-Erhebung eintretenden Aenderungen des Climas gesagt haben und sagen werden, gilt auch und allem Anschein nach in noch verstärkterem Grade, von den südpolaren Ländern.

Auf allen diesen Gebirgen, welche in Folge ihrer Erhebung die Schneelinie ihrer geographischen Breite erreichten und übertragen, mussten wegen gleicher Ursachen, auch die gleichen Wirkungen eintreten. Jedes solche Gebirge wurde von sich aus ein Mittelpunkt, auf welchem sich die Erscheinungen vorbereiteten, die zusammen die gewaltige Wirkung der Aenderung des Climas hervorbrachten. Eine genaue Gleichzeitigkeit der Gebirgs-Erhebungen hat sicher nicht stattgefunden, war auch nicht nöthig. In den Nordpolarländern wäre nach dem Character der Pflanzen die Erhöhung des Bodens in der untermiocenen Periode erfolgt (Heer, l. c. II. Abth. Spitzbergen p. 14). In den Alpen erfolgte wenigstens die letzte Hebung nach der obermiocenen Periode. Allein, wenn auch die Anfänge der Umwälzung, die Vorbereitungen zur Aenderung des Climas nicht überall gleichzeitig waren, so fiel dess ungeachtet die Hauptwirkung in eine bestimmte Zeit, die quartäre, welche eben dadurch einen so sehr ausgezeichneten Character erhielt. Aber auch noch andere Gebirge, welche für sich nicht in die Region des ewigen Schnees sich erhoben, Mittelgebirge, wurden von dem, was auf den hohen Gebirgen vor sich ging, berührt. Der erkältende Einfluss der auf den hohen Gebirgen sich sammelnden Schneemassen wirkte in die Ferne besonders durch kalte Luftströmungen. Um ein Beispiel aus der Nachbarschaft der Alpen anzuführen: der Jura, Schwarzwald, Vogesen, — ob dieselben nun erst zur Tertiärzeit ihre letzte Hebung durchgemacht, oder früher schon erhoben worden seien, sie wurden von der Nachbarschaft der mehr und mehr in einen Mantel von Schnee sich hüllenden Alpen beeinflusst. Wenn sie auch in diesem Stadium der Vorbereitung noch nicht zu wirklichen Schneegebirgen wurden, so näherten sie sich doch diesem Zustande mehr und mehr.

II. Stadium der Dislocation der Schneemassen.

Die gegenüber der Wärme exterritorial gewordenen Schneemassen sammelten sich so lange an, bis sie durch andere physikalische Kräfte wieder in den Kreislauf des Wassers zurückgeführt wurden. Zwei verschiedene Kräfte wirkten zu diesem Ziele zusammen: von oben herab drückte die Schwere der sich aufthürmenden Massen und drängte zu einer Dislocation, die aber nicht zu Stande kommen konnte, so lange noch keine Abfuhrwege geöffnet waren; von unten herauf rückten mehr und mehr die von den fliessenden Wassern und der Verwitterung gebahnten Thalwege vor. Sobald, aber auch erst dann, als diese zwei Kräfte sich die Hand boten, als die Thalrinnen der Basis der Schneewand sich näherten und in dieselbe Bresche zu legen begannen, entstand eine Catastrophe, die Dislocation der Schneemassen nach der Tiefe, in der Form von Gletschern.

Wir nehmen keinen Anstand das Wort Catastrophe zu gebrauchen, obwohl wir wissen, dass in der Geologie mit diesem Worte viel Missbrauch getrieben wurde und vielleicht noch wird. Es ist ein Missbrauch, eine Catastrophe überall da zu Hilfe zu nehmen, wo die Gründe nicht mehr ausreichen. Anders aber verhält es sich, wenn die Ursachen, durch welche die Catastrophe eingeleitet und hervorgerufen wird, angegeben und entwickelt werden. Jegliche Catastrophe in der Entwicklung der Erdrinde zum voraus auszuschliessen, ist sicher unbegründet. Mögen die wirkenden Ursachen auch in ganz allmälicher Weise durch Jahrhunderte hindurch wirken, so wird doch in den meisten Fällen das Resultat dieser langdauernden Arbeit eine Catastrophe sein. Ein Felsen wird durch die Jahrhunderte andauernde stille Arbeit des Frostes und der Feuchtigkeit in seinem Verband mit der Bergmasse allmälig gelockert, endlich kommt die Losreissung, die Catastrophe. Derartige motivirte entscheidende Ereignisse von der Hand zu weisen, würde eben so gut gegen die Wahrheit sein, als es verkehrt ist, für jede augenfällige Wirkung eine

einige, rasch verlaufende räthselhafte, weil in ihren Motiven nicht erkannte Catastrophe aufzustellen.

Wir dürfen die Dislocation der angehäuften Schneemassen nicht als eine gemächliche uns vorstellen. Das überlastete Schneegebirge hatte, durch seine eigene Schwere gedrängt und begünstigt durch die Verschiebbarkeit seiner Theile, die auch dem Eisschnee, dem Firn, noch zukommt, einen Drang zur Dislocation. Die erste Bewegung des Schnees gegen die vom Fluss hervorgebrachte Bresche konnte keine langsame sein, sondern musste den Character eines Lawinensturzes haben; die Lücke, welche hierdurch entstand, wurde alsbald durch andere Schneemassen, denen ihr Stützpunkt entzogen war, ausgefüllt; es entstand eine weithin sich ausdehnende Bewegung; die zuerst in das Flussthal abgestürzten Schneemassen wurden weiter nach abwärts gedrängt, denn an kräftigem Nachschub von oben fehlte es nicht. Durch die einmal installirte gewaltige Bewegung wurden die losen Felsenstücke und halbgelockerten Massen mit erfasst und mit fortgeschafft; die Widerstand leistenden starren Felsenwände geglättet und geschrämt. Nach oben hin, innerhalb der Region des ewigen Schnees, verzweigte sich die Bewegung nicht minder. Wie in den tieferen Regionen des Gebirgs die fliessenden Wasser das Gebirg durchfurcht hatten, so jetzt auch der fliessende Schnee in den oberen Gegenden. Der eisige Schnee bedurfte eines Anstosses, um aus seinem bisherigen Bann gelöst zu werden; nachdem aber einmal durch die Thaleinschnitte die Möglichkeit einer Dislocation nach der Tiefe eröffnet war, so wurde diese mit aller Energie vollbracht. Die schon ursprünglich vorhandenen Längsthäler der Kettengebirge werden dem in Bewegung gerathenen Schnee zunächst die Richtung vorgezeichnet haben bis zu der Stelle, wo das Querthal Bahn gebrochen hat. Fehlt auch dem Eisschnee die vollkommene Geschmeidigkeit des Wassers, so ersetzt er diesen Abmangel reichlich durch seine Massenhaftigkeit und sein Gewicht. Das System der Abfuhrwege des Schnees, begreiflich immer einmündend in die Flussthäler, wurde nun auch in jenen hohen Regionen durchgeführt, in welchen das tropfbar flüssige Wasser keinen Zutritt hat und so ein ganzes Netz von

Canälen von der Ebene und den Abhängen des Gebirges an eröffnet bis zum Centrum und Kamm desselben. Dass diese Durchfurchung nicht Sache eines Moments sein konnte, dass es hierzu langer Zeiträume bedurfte, ist selbstverständlich. Aber jede Verzögerung in der Abfuhr sammelte neue Massen an, wodurch die zur Dislocation drängende Kraft der Schwere verstärkt wurde. Dass die Gletscher nach unten in die Flussthäler münden und die Flussthäler nach oben in die Gletscherthäler fortsetzen — das ist ein deutlicher Fingerzeig, dass die Durchfurchung des Gebirgs von der Ebene bis zum Kamm nach einem und demselben Princip stattgefunden hat; dass zwei zusammengehörige Mächte, das fliessende Wasser unten und der fliessende Schnee oben, einander die Hand gereicht haben.

Wenn nun die fort sich bewegenden Massen (Gletscher) am Rand des Gebirges und in der Ebene selbst angekommen waren, so konnten sich verschiedene Modalitäten für den weiteren Verlauf ergeben.

Wenn 1. das offene Meer den Fuss des Gebirges bespülte, so lösten sich die Gletscher in schwimmende Eisberge auf, strandeten und unterlagen der Abschmelzung in verschiedenen Entfernungen und Richtungen.

2. Wenn ein Landsee den Fuss des Gebirges berührte, so konnten die Erscheinungen die gleichen gewesen sein, wie im vorigen Fall; aber sie müssen nicht die gleichen gewesen sein, wie wir nachher auseinandersetzen werden.

3. Wenn eine Ebene sich dem Rand des Gebirges vorlegte, so wird der Gletscher gesucht haben, sich fächerförmig über dieselbe auszubreiten, wobei er jedoch wesentlich nach den Terrainverhältnissen sich zu richten hatte.

Die erste Modalität trat unbestritten ein in den polaren und andern nördlichen Ländern (Scandinavien); die zweite verlangt Sartorius für die Gletscher der Alpen. Er nimmt an, dass ein grosser Landsee vom Genfersee bis Linz in einer absoluten Meereshöhe von nahezu 5000' (cf. I. c. p. 228) den Fuss der Alpen bespült haben und die Gletscher sich in demselben

in Eisberge aufgelöst haben. Allein gegen diese Annahme erheben sich beträchtliche Bedenken. Heer bemerkt (l. c. p. 75) mit Recht, dass dieser See uferlos gewesen wäre, da das Land im Nord und Osten diese Höhe gar nicht erreiche. Man muss, um einen Landsee in dieser Höhe und Lage zu construiren, jedenfalls zu einer Reihe von weiteren Hypothesen greifen. Dann fragt es sich immer noch, ob die Beschaffenheit der Landschaften, über welche sich der See soll ausgedehnt haben, wirklich dafür spricht, dass die erratischen Gesteine dorthin auf Eisbergen geschafft wurden.

Sartorius glaubt allerdings für den Rhonegletscher eine solche Verbreitung annehmen zu müssen. Allein Lyell* und Heer (*Urwelt der Schweiz*, S. 523) sprechen sich, gestützt auf die Untersuchungen von Guyot dagegen aus; sie verlangen die Anwesenheit des starren Gletschers. Auch unsere eigenen Beobachtungen über die Verbreitung des Rheinthalgletschers im württembergischen Oberschwaben ** sprechen gegen eine Verbreitung auf Eisschollen. Dieser Theil der Rheinthal-Gletscherlandschaft lässt eine fächerförmige Gliederung mit ausgeprägter Mittellinie beobachten, was mit einer Verbreitung auf Eisschollen nicht zusammenstimmt. *** Es finden sich sodann in Oberschwaben überall, besonders auch noch in einer beträchtlichen Entfernung vom Gebirg, bei Biberach, nicht blos erratische Blöcke und gekritzte Steine, sondern zusammenhängende Schlammschichten, wirkliche Grundmoränen, in denen polirte und gekritzte Steine eingelagert sind. (Cf. W. Jahreshefte l. c. p. 68.) Wie eine Schlammschicht über einen weiten offenen See hin 20 Reisestunden weit transportirt werden konnte, ohne zu zerfliessen, ist schwer einzusehen; oder, wenn der Frost dieselbe härtete, so ist schliesslich nicht zu begreifen, wie dieselbe selbst noch beim Abschmelzen des Eis-

* Alter des Menschengeschlechts, deutsche Ausgabe. S. 232.

** Cf. W. Jahreshefte 1874. S. 40.

*** Oberbaurath Robert Gerwig wies in neuester Zeit die Verbreitung des Rheinthalgletschers im badischen Seekreis nach. Auch er kommt zu dem Resultat, dass der Gletscher selbst mit seinen Moränen sich über die Landschaft hingelagert habe.

bergs innerhalb eines Sees, sich sollte im Zusammenhang erhalten haben. In Schussenried, somit in einer Gegend, die ganz in den Bereich des hypothetischen Landsees fallen würde, fand sich eine menschliche Niederlassung im Grund der Gletscherformation. Die dort gefundenen fossilen Reste der zahlreichen Rennthiere und anderer Landbewohner, wie nicht minder die hochnordischen Moose* sprechen wohl entschieden gegen die Bedeckung der Gegend mit einem Landsee. Dazu kommt noch, dass nach den Untersuchungen von Theobald die erratischen Gesteine dieser Gegend von der rechten Rheinseite stammen, ** somit eine Vermischung des erratischen Materials, wie es beim Transport durch Eisblöcke stattfinden müsste, nicht besteht. Ueberdiess hätte dieser umfangreiche See, wenn er in der Pliocenzeit wirklich bestanden hätte, pliocene Schichten zurücklassen müssen, die aber in der Schweiz, in Schwaben und Bayern fehlen, wenigstens nicht gefunden sind. Cf. Heer, Urwelt S. 504.

Unseres Erachtens sollte es keinerlei ernstlichen Schwierigkeiten unterliegen, den Genfer- und Bodensee im Zustande der Erstarrung, zugefroren, sich zu denken, so dass der Gletscher sich über dieselben hinüberbewegen konnte. ***

* Wenn Sartorius das bestreitet (l. c. p. 174), so liegt dem eine nicht haltbare Voraussetzung zu Grunde. Er sagt, dass die Temperatur, die um den Genfersee besteht, den Gletscher alsbald auflösen würde. Das ist gewiss richtig bei den heutigen Temperaturverhältnissen in jenen Gegenden. Aber zur Quartärzeit bestand dort sicher eine ganz andere Temperatur. Wenn die Gletscher von allen Seiten aus dem Gebirge herausdringen und in der Ebene selbst sich auszubreiten beginnen, wenn die Linie des ewigen Schnees sich so tief herabgezogen hat, so wird auch die Temperatur der dem Gebirge benachbarten Ebene so herabgemindert worden sein, dass selbst die Sommerwärme eine sehr geringe war. Die Gletscher waren im Stande, die Temperatur

* Cf. Jahreshefte 1867, S. 35.

** l. c. 1866, p. 105.

*** Ueber das Gefrieren des Bodensees in historischer Zeit cf. W. Jahreshefte 1855, S. 47 und S. 476.

ihrer Nachbarschaft so zu beeinflussen, dass sie, gestützt auf das schneerefüllte Gebirg, das frühere milde Clima schon verdrängt und ein anderes hervorgerufen hatten, bei welchem sie selbst der mächtigste maassgebende Factor waren. Die Temperaturbeobachtungen in der nächsten Nachbarschaft der Gletscher geben eine mittlere Jahreswärme von nur ungefähr 1° R. *

Es stellt sich aber noch eine sehr ernste Schwierigkeit in den Weg. Sartorius fragt mit Recht (S. 175): „wo sind die Kräfte zu finden, welche eine solche Eismasse in Bewegung setzen können; kann eine Eismasse von solcher Ausdehnung überhaupt noch bewegt werden?“ Wir wissen nur eine einzige bewegende Kraft, den von oben wirkenden Druck und einen genügenden Neigungswinkel. Das das Gletschermaterial, wenn auch au sich noch so ungefüge und schwerfällig, doch einer Bewegung fähig ist, wie die Beobachtung thatsächlich beweist, so konnte dasselbe sich nicht blos, sondern mnsste sich bewegen, wenn die genügende Neigung vorhanden war, und soweit als diese verlangte.

Wählen wir zur Beleuchtung dieser Seite unseres Gegenstandes die Verbreitung des Rheinthalgletschers über das württ. Oberschwaben; ** bei den andern aus den Alpen herabgestiegenen Gletschern werden sich ähnliche Verhältnisse nachweisen lassen. Die Entfernung von Chur, um feste Punkte zu benennen, in $46^{\circ} 50'$ bis Biberach in $48^{\circ} 5'$, beträgt $1^{\circ} 15'$ somit 450,000 Pariser Fuss.

Nehmen wir nun mit Sartorius an (S. 43), dass als Minimum der Neigung, unter welcher ein Gletscher sich fortbewegen kann, kaum unter $1-2^{\circ}$ angenommen werden können, so ergibt sich die Aufgabe: wie gross muss die senkrechte Höhe der zurückliegenden Gebirgswand sein, wenn die Basis des Dreiecks (die Entfernung) 450,000' beträgt und der Neigungswinkel = 1° ist. Die Höhe berechnet sich auf 7854'; und bei zu Grundlegung von 2° Neigung auf 15,714'; im Mittel von beiden Winkeln somit auf 11,784'.

* Cf. Sartorius l. c. p. 183.

** W. Jahreshefte 1874, S. 40.

Wenn man nun die mittlere Meereshöhe der Graubündner Alpen zu 8000' annimmt und davon noch die Meereshöhe der Tertiärschichten bei Biberach mit 1630 Pariser Fuss (= 1849 W. Fuss) in Abzug bringt, so werden wir auf einen Punkt hingewiesen, der 5414' über die angenommene Felsenhöhe der Graubündner Alpen hinauftragt. Wenn die Schneemassen sich auf dem Rücken des Gebirges so hoch aufthürmen konnten, so gewann der Gletscher eine Neigung, welche ihn befähigte oder nöthigte, bis in die Gegend von Biberach sich vorzubewegen.

Die Ziffer ist nicht unbeträchtlich, aber in keiner Weise unmöglich. Wenn wir bedenken, was wir zuvor schon (Abschnitt I.) ausgeführt haben, dass auf der Basis des Querdurchmessers des Alpengebirgs sich ein Schneeprisma aufthürmen konnte, welches in seiner oberen Kante die Höhe von 180,000' erreichen konnte, so sieht man wohl, dass mit der mässigen Ziffer von 5400' keineswegs an die Gränzen der Möglichkeit angestreift ist, sondern dass eine noch viel beträchtlichere Höhe der Schneewand durchaus in den Bereich der mathematischen und physikalischen Möglichkeit fallen würde.

Es ist kaum nöthig hervorzuheben, dass sich die vorgeführte Entwicklung wesentlich von der Agassiz'schen* Hypothese unterscheidet. Wir lassen nicht einen grossen Theil der Erde sich ohne weitere Motivirung mit einem Eis- und Schneemantel belegen, den die Alpen und die andern Gebirge der Erde bei ihrer Hebung zu sprengen hatten; sondern die vollbrachte Erhebung der Alpen über die Schneelinie war die unumgängliche Vorbedingung der Ansammlung der Schneemassen auf ihrem Rücken. Nicht ein rapides Emporschnellen der Alpen hat die Dislocation der Schnee- und Eismassen veranlasst, sondern zweierlei zusammenwirkende Ursachen, die Last der Schneemassen auf dem Rücken des Gebirges einerseits und die durchfurchende Thätigkeit des Wassers am Abhang des Gebirges andererseits. Wir lassen nicht die Erde nach Erhebung der Alpen ohne Motivirung sich wieder erwärmen und den geborstenen Eismantel abschmelzen,

* Untersuchungen über die Gletscher, S. 294.

sondern die Herrschaft des Eises ging dadurch zu Ende (um das jetzt schon zu bemerken, worauf wir im V. Abschnitt ausführlicher eingehen), dass dasselbe sich in eine zu tiefe Region herabgedrängt hatte, wo es dem Einflusse der Wärme ausgesetzt war und demselben allmählig erliegen musste, wenn auch ein Rest seiner Herrschaft sich noch fortsetzte. Durch seine Dislocation hatte aber der Schnee bis in das Herz seiner ehemaligen festen exterritorialen Position hinein, Abfuhrwege hergestellt, so dass er auch dort nur von einem Jahre zum andern sich halten kann; was „ferndig“ ist (Firn), tritt die Wanderung zu Thal an, zunächst ins Gletscherthal, dann in die Fortsetzung desselben ins Flussthal in Gestalt des Gletscherbachs. Der Kreislauf des Wassers wird so wieder hergestellt.

III. Folgen der Dislocation der Eis- und Schneemassen.

Die nächste Wirkung der Dislocation der Schneemassen war nicht eine Besserung des Climas, wie man glauben könnte, sondern zunächst eine noch schärfere Verschlechterung desselben. Es ist ganz begreiflich, dass, sobald die Schnee- und Gletschermassen ihre bisherige Stellung verliessen und an den Fuss des Gebirges vollends herabrückten, eine Verschlechterung des Climas über noch weitere Kreise sich ausdehnen musste. Wenn die Gletscher sich in das Meer ergossen und durch Strömungen und Winde viele Meilen weit fortgeschafft wurde, so erkälteten sie das Meerwasser, wie das heutzutage noch die Erfahrung der Seefahrer in höheren nördlichen und südlichen Breiten ist. Wenn dieselben aber auf der dem Gebirge sich vorlegenden Ebene sich ausbreiteten, so wurde bei der colossalen Grösse ihrer Massen für solche Gegenden selbst die Sommerwärme auf ein ganz niedriges Maass reducirt. Alle oder nahezu alle noch disponible Wärme musste zur Auflösung des Eises absorbirt werden, und war doch ungenügend, um die Massen sofort zu bewältigen. Die Folge war und musste sein, dass nun auch die Fernwirkung der Gletscher viel energischer sich geltend machte, die im vorhergehenden Stadium erst in ihren schwachen Anfängen war. Wenn

wir für jenes Stadium (der Ansammlung) bemerkten, dass in der Nähe der Alpen, Jura, Vogesen und Schwarzwald zu Schneegebirgen vorbereitet wurden, so konnte jetzt, nachdem die Gletschermassen bis gegen den Fuss dieser Gebirge sich vorgeschoben hatten, die wirkliche Umwandlung in Schneegebirge sich vollziehen; diese Mittelgebirge wurden nunmehr von sich aus Heerde der Gletscherverbreitung und begann sich auf ihnen der gleiche Prozess in kleinerem Maassstabe abzuwickeln, der zuvor auf den Alpen allein sich vollzog. Wenn es sich bewährt, dass selbst auf der schwäbischen Alb und in dem angränzenden Riess sich ehedem Gletscher gebildet haben (cf. W. Jahreshefte 1870, S. 95), so hätte die Fernwirkung der dislocirten Eismassen der Alpen selbst auf wenig hohe Mittelgebirge sich erstreckt.

Wenn ferner die grönlandischen Gletscher ihre Eisberge in die Hudsonsbay und durch die Baffinsbay entsandten, so trat auch für die Länder, die weit ausserhalb des Polarkreises liegen, eine solche Abminderung der Wärme ein, dass die Gebirge von Canada und Nordamerica, von Island, Scandinavien, Schottland und Wales sich zu Schneegebirgen gestalteten. Man würde mit Unrecht einwenden, dass ja heute noch die grönlandischen Gletscher ihre Massen ins Meer entsenden, ohne dass desshalb in England etc. Gletscher sich vorfinden. Das Material, das heutzutage ins Meer wandert, ist der stetige jährliche Abfluss, der dem stetigen jährlichen Zuwachs entspricht. Der erste Erguss der Gletscher nach langer Ansammlung war, wie in den Alpen, so auch in Grönland ein vielmal gewaltigerer, als bei den jetzigen Verhältnissen möglich ist.

Durch die Festsetzung der Gletscher auf Scandinavien und Schottland einerseits und dem östlichen Nordamerica andererseits, war der atlantische Ocean und die Nordsee unmittelbar in den Bereich der Erkältung gezogen, was auch auf die Küstenländer derselben noch weiter nach Süden nicht ohne Einfluss bleiben konnte.

Ueber die Verbreitung der Gletschererscheinungen auf der

Erde zur Quartärzeit gibt Darwin* eine Zusammenstellung, welcher wir nur noch ergänzend hauptsächlich die ehemalige umfassendere Gletscherausdehnung auf dem Kaukasus beifügen, die von Abich beobachtet wurde.

In Böhmen fehlen nach Cotta** alle erratischen Erscheinungen der Diluvialzeit; nicht minder nach demselben Schriftsteller am Altai (l. c. p. 336.)

Mitwirkende Ursachen zur Verschlimmerung des Climas wollen nicht ausgeschlossen werden, insbesondere starke Vermehrung der Niederschläge, die mit einer andern Vertheilung

* Entstehung der Arten, deutsche Ausgabe von Bronn, S. 378.
 »In Europa haben wir die deutlichsten Beweise einer Kälteperiode von den Westküsten Britanniens ostwärts bis zur Uralkette und südwärts bis zu den Pyrenäen. Aus den im Eise eingefrorenen Säugethieren und der Beschaffenheit der Gebirgsvegetation zu schliessen, war Sibirien auf ähnliche Weise betroffen. Längs dem Himalaya haben Gletscher an 900 englische Meilen von einander entfernten Punkten Spuren ihrer ehemaligen weiten Erstreckung nach der Tiefe hinterlassen; in Sikkim sah Dr. Hooker Mays wachsen auf alten Riesemoränen. Im Süden des Aequators haben wir einige unmittelbare Beweise früherer Eisthätigkeit in Neuseeland und das Wiedererscheinen derselben Pflanzenarten auf weit von einander getrennten Bergen dieser Insel spricht für die gleiche Geschichte. Wenn sich ein bereits veröffentlichter Bericht bestätigt, so liegen direkte Beweise solcher Thätigkeit auch in der südöstlichen Spitze Neuhollands vor. Sehen wir uns in Amerika um; in der nördlichen Hälfte sind von Eis transportierte Felstrümmer beobachtet worden an der Ostseite abwärts bis zum 36°, und an der Küste des stillen Meeres, wo das Clima jetzt so verschieden ist, bis zum 46° nördlicher Breite; auch in den Rocky Mountains sind erratische Blöcke gesehen worden. In den Cordilleren des äquatorialen Süd-Amerikas haben sich die Gletscher ehedem weit über ihre jetzige Gränze herabbewegt. In Central-Chili war ich betroffen von der Structur eines Detritushaufwerks, welches 800' hoch ein Andesthal quer durchsetzt und dies war, wie ich jetzt überzeugt bin, eine riesige Moräne tief unter jedem noch jetzt dort vorkommenden Gletscher. Weiter südwärts, an beiden Seiten des Continents von 41° Br. bis zur südlichsten Spitze, finden wir die klarsten Beweise früherer Gletscherthätigkeit in mächtigen, von ihrer Geburtsstätte weit entführten, Blöcken.«

** Geologie der Gegenwart. 4. Aufl. S. 83.

von Festland und Wasser verbunden gewesen sein können. Aber sie dürfen doch immer nur als mitwirkende, secundäre Ursachen, nicht als grundlegendes Princip der Eiszeit aufgefasst werden. Mögen dieselben auch noch so reichlich gedacht werden, so sind sie als warme Niederschläge, (wie wir sie nach der Beschaffenheit des ursprünglichen anfänglichen tertiären Climas nothwendig auffassen müssen, auch wenn sie von den Polen her ihren Ausgang nahmen) wohl geeigenschaftet, grosse Anschwellungen des Wassers herbeizuführen, den Temperaturunterschied zwischen Sommer und Winter zu vermindern, aber nicht, specifische und starke Kälteerscheinungen, wie sie das quartäre Clima unzweifelhaft verlangte, hervorzurufen. Nur, wenn die Kälte durch einen andern physikalischen Vorgang schon hervorgerufen war, so mögen vermehrte Niederschläge die nachfolgenden Ereignisse beschleunigt und befördert haben. Aber wir halten kaum für nöthig, auf diese Annahme, die doch immerhin nur möglich, nicht aber erwiesen ist, ein besonderes Gewicht zu legen. Wenn der durch den specifischen Kältefactor, den wir darzustellen versucht haben, eingeleitete Prozess auch nicht durch sehr vermehrte Niederschläge verstärkt wurde, wenn dieselben sich ungefähr gleich blieben und den Niederschlägen der Gegenwart ähnlich waren, so wurde dessungeachtet das gleiche Resultat erzielt. Die Ansammlung des über der Schneelinie liegenden Materials ging dann etwas langsamer vor sich, brauchte etwas mehr Zeit, um zu der erforderlichen Massenhaftigkeit anzuschwellen. Wir brauchen aber nicht einmal, was sonst erlaubt ist, zu exorbitanten Zeiträumen zu greifen; ganz bescheidene Ziffern von einigen Jahrhunderten genügen. Wenn der jährlich sich ansammelnde Zuwachs an Schnee über der Schneelinie nur auf 10' veranschlagt wird, so ergeben sich, weil kein Abzug erfolgte, in einigen Jahrhunderten ganz gewaltige Massen.

In Betreff der Meeresströmungen, welche hier nicht unerwähnt bleiben dürfen, gilt das Gleiche, was wir von den Luftströmungen und Niederschlägen bemerkt haben.

Als grundlegende, Kälte hervorrufende Ursache können wir dieselben durchaus nicht gelten lassen. Vor Allem müsste

doch angegeben werden, wo die Kälte ihren Sitz hatte, woher die Strömungen dieselbe beziehen konnten? Die Nordmeere der Tertiärzeit waren keine kalten Eismeere, sondern gemässigte Meere, wie aus der Flora der dortigen Länder unbezweifelbar hervorgeht.

Dass eine weitere Verbreitung der Kälte auf diesem Wege möglich war, nachdem zuvor der spezifische Kältefactor dieselbe hervorgerufen hatte, ist gar nicht zu bezweifeln. Aber mehr als eine secundäre Verbreitung können wir nicht auf Rechnung der Meeresströmungen setzen. Ueberdiess hängt die Richtung der kalten und warmen Meeresströmungen so sehr von der Gestaltung der Continente ab, dass, so lange wir über die Lage und den Umfang der Continente früherer Erdperioden, die seitdem wieder untergetaucht sein können, nur sehr unsichere Kenntnisse besitzen, auch der Einfluss und die Richtung der vorzeitlichen Meeresströmungen nur mit grösster Vorsicht geschätzt werden können.

Viel wichtiger ist die Frage, ob unsere physicalischen Deductionen von dem allmähligen Umsichgreifen der Veränderung des Climas seit der späteren Tertiärzeit, durch paläontologische Beweise oder wenigstens Anhaltspunkte sich stützen und bekräftigen lassen. Erst hiedurch wird unserer Auseinandersetzung das Gepräge der Realität gegeben werden können.

IV. Paläontologische Thatsachen,

welche geeignet sind, unserer Auffassung zur Stütze zu dienen, haben sich besonders in England aber auch anderwärts gefunden, und möchten sich späterhin noch zahlreicher einstellen. Wir führen einen interessanten diessbezüglichen Passus aus Lyell's * Alter des Menschengeschlechts an, der sich auf den Crag, die pliocene Formation Englands bezieht:

„Die versteinerten Muscheln der fraglichen Ablagerung weisen klar auf eine allmähliche Erkaltung des Climas hin und zwar von

* l. c. p. 162.

einer noch etwas wärmeren Temperatur als die heutige, bis zu einer hochgradigen Kälte. S. Wood hat eine ausgezeichnete Monographie der britischen Pliocenbildungen geschrieben, und 442 Arten von Weichtieren untersucht. Eine aus den Resultaten dieser Arbeit zusammengestellte Uebersicht ergibt nun eine gewaltige Veränderung in dem Clima der drei aufeinander folgenden (pliocenen) Formationsabtheilungen. In dem Korallencrag (der ältesten Abtheilung der pliocenen Formation) finden sich 27 südliche Muscheln, nämlich 26 Mittelmeerarten und 1 west-indische. Von diesen kommen nur 13 im rothen Crag (mittlere Abtheilung des englischen Pliocen) vor, vermischt mit drei neuen südlichen Arten, während sie aus den Norwichegern (der jüngsten Abtheilung der pliocenen Formation) ganz verschwinden. Auf der andern Seite enthält der Korallencrag nur 2 Muscheln, welche nordischen Arten nahe verwandt sind; der rothe Crag enthält 8 nördliche Arten, welche alle in dem Norwichecrag wiederkehren mit Hinzufügung von 4 andern, ebenfalls Bewohnern des Nordens, so dass hierin ein deutlicher Beweis für eine fortgesetzte Erkältung des Climas während der Pliocenzeit in England liegt. Die Gegenwart dieser Muscheln kann nicht damit erklärt werden, dass sie Bewohner der Tiefsee gewesen, da mehrere von ihnen, wie *Tellina calcarea* und *Astarte borealis* in grosser Menge und manchmal noch die Schalen mit dem Bandapparat vereinigt, in Gesellschaft mit andern Küstenumscheln vorkommen. Ausserdem ist es im Norwichecrag auch das Vorwiegen von gewissen Arten und Gattungen, wie *Tellina calcarea*, *Scalaria Groenlandica* etc., welches den nordischen Character desselben für den Conchyliologen ausser Zweifel setzt. In ähnlicher Weise geben andere Gattungen, wie *Pyrula*, *Columbella*, *Terebra* etc. den Korallencragmuscheln einen mehr südlichen Character. Die von den Zeiten des Korallenerags bis zu denen des Norwichecrag anwachsende Kälte fuhr, vielleicht nicht ohne einige Schwankungen, fort, nach der Anhäufung des Norwichecrag strenger und strenger zu werden, bis sie ihr Maximum in der sogenannten Eiszeit erreichte. Die Meeresthierwelt dieser letzten Periode enthält sowohl in Irland als Schottland neue Arten von

Muscheln, welche jetzt in Grönland und andern weit entfernten nördlichen Meeren leben.“

Von gleichem Werthe sind die von Prof. Suess in Wien gemachten Beobachtungen über die Muscheln seiner sarmatischen Stufe.* Diese Formation, welche in die gleiche Periode mit der Oeninger Stufe (obermiocen) zu setzen ist, zeigt eine auffallende Veränderung der Meeresbevölkerung, besonders der Muscheln, gegenüber der früheren Stufe (helvetische Stufe = marine Molasse). Dieselben deuten nach diesem Gelehrten „auf ein nördlich gemässigtes, sogar boreales Meer hin“ (l. c., p. 255) und wird zur Erklärung dieser Erscheinung auf eine Verbindung mit dem Eismeer hingewiesen; somit ein ähnliches Resultat, wie in England. Der Verbindung mit dem Polarmeere steht nichts im Wege; nur müssen zuvor nothwendig die Ursachen nachgewiesen werden, warum die Polargegenden, die zur untermiocenen Zeit nach den Arbeiten von Heer ein so mildes Clima besassen, seitdem so erkältet worden seien, dass sie als Eismeer auf so beträchtliche Entfernung hin erkältend wirken konnten. Wir haben im Vorhergehenden versucht, diese Umänderung zu motiviren.

Uebrigens könnte die Ursache für die niedrige Temperatur des sarmatischen Meeres wohl besser in grösserer Nähe desselben gefunden werden. Die sarmatische Formation wird nach Suess in ihrer ganzen Ausdehnung vom Caucasus als ihrem Centrum beherrscht und lagert sich an ihn an (l. c. p. 240. 243).

Sollte es nun nicht nahe liegen, anzunehmen, dass auf dem Caucasus, der ja auch zu den jungen Gebirgen der Erde gehört, ** jener Prozess sich abgewickelt habe, den wir vor Augen zu führen uns bestrebt haben? Dass somit durch die Dislocation der gesammelten Schneemassen sich Gletscher in das sarmatische Meer

* Cf. Untersuchungen über den Charakter der österreichischen Tertiärablagerungen. W. Sitzungsberichte, 1866, S. 218. Die Landthiere sind noch mit denen der vorhergehenden Stufe übereinstimmend.

** Nach Suess l. c. p. 246 dringen die sarmatischen Schichten stellenweise tief in die Thäler des Caucasus ein, scheinen aber auch stellenweise durch die Hebung des Caucasus mit erhoben worden zu sein bis zur Höhe von 5000—7000'. S. 240, 241.

ergossen, die seine Gewässer abkühlten und dass damit die Existenzbedingungen für eine Muschelfauna geschaffen wurden, welchen ein niedrigerer Temperaturgrad der Gewässer zusagte.

Für die nördliche Nachbarschaft der Alpen sind solche Beobachtungen noch nicht gemacht. Die pliocene Formation, in welcher sich die Abänderung am meisten ausdrücken könnte, scheint, wie in der Schweiz so auch im südlichen Baiern und Schwaben nicht vorhanden zu sein. Doch ist die Abnahme der Temperatur um 2° C. nach Heer schon innerhalb der miocenen Zeit eine nicht zu übersehende Andeutung einer nicht unbeträchtlichen climatischen Aenderung. Das Pliocen Italiens liegt im Allgemeinen zu weit ausserhalb des unmittelbaren Einflusses der Schneegebirge, so dass sich hier die Wirkung derselben nur in geringem Maasse geltend machen konnte, obwohl in Sizilien dahin zielende Erscheinungen bemerkt worden sein sollen.

Da zur Zeit der Steinkohlenbildung und noch zur Kreidezeit eine zonenweise Abnahme der Wärme gegen die Pole hin noch gar nicht wahrzunehmen ist,* in der miocenen Zeit aber schon deutlich hervortritt, so ist allerdings mit Grund anzunehmen, dass der Wärme absorbirende Factor schon früher sich geltend zu machen anfing, und die ersten Anfänge seiner Wirksamkeit zwischen die Kreidezeit und Tertiärzeit fallen, oder zwischen Eocen und Miocen. Allein wir können bei dem heutigen Stand der Sache die Erscheinung der Veränderung des Climas nicht bis in seine ersten Anfänge zurückverfolgen. Die Pflanzen und Thiere der mittleren und späteren Tertiärzeit und ihre climatischen Ansprüche lassen sich erkennen, da homologe oder wenigstens analoge Formen bis in die Gegenwart hineinreichen; dagegen wissen wir von den climatischen Existenzbedingungen der ältern Pflanzen und Thiere, weil sie den lebenden Geschlechtern und Arten zu fern stehen, nichts Bestimmtes; es fehlt somit die Grundlage zur speziellen Vergleichung. Der allgemeine Eindruck der Organismen der älteren Perioden vor dem Miocen, spricht dafür, dass ein subtropisches Clima sich tief in die Polarländer

* Cf. Heer, *Polarflora* I. S. 60.

hinein erstreckt habe,* welches schon zur miocenen Zeit dort einem gemässigten Clima Platz machen musste. Spätere Entdeckungen und besonders genaue Untersuchungen über die Zeit der Erhebung der verschiedenen jüngeren hohen Gebirge könnten weiteren Aufschluss geben.

Aus den vorgeführten paläontologischen Thatsachen ergibt sich eine allmähliche Abnahme der Temperatur, zunächst zonenweise Anordnung der Climate in der miocenen Zeit; dann eine Abnahme in der letzteren selbst, zwischen der untern und obern Süsswassermolasse; eine noch beträchtlichere in der pliocenen Zeit nach den Beobachtungen in England; die Culmination der Kälte fällt endlich in die quartäre Zeit.

Wir glauben, dass die Entwicklung des physikalischen Vorganges auf der Erdoberfläche, wie wir denselben bis dahin vorgeführt haben, mit diesen Beobachtungen in gutem Einklang steht. Die Auffindung von Mammuthsleichen, die mit Fleisch und Haaren in den sibirischen Schlamm eingefroren sind, hat zu der Annahme verleitet, dass die Kälte der Quartärzeit nicht allmählig eingetreten, sondern rapid eingefallen sei. Allein die so conservirten Cadaver sind auch in Sibirien seltene Ausnahmen gegenüber der grossen Zahl derjenigen Thiere, deren Skelette sich, wie anderwärts, in Folge der Verwesung aufgelöst haben. Eine ausnahmsweise gute Erhaltung kommt zuweilen auch im Torf vor (cf. W. Jahreshefte 1869, S. 255), ohne dass man darauf Schlüsse von so gewaltiger Tragweite bauen dürfte.

V. Stadium der Abschmelzung.

Durch fortgesetzte Entladung der angehäuften Massen musste der Heerd der Ansammlung des Schnees entlastet werden. Der jährliche Znwachs war nicht im Verhältniss zu dem massenhaften Abgang. Da so die Ursache der Verschlechterung des Climas hinschwand, so konnte sich nach und nach ein wärmeres Clima wieder festsetzen.

* Heer l. c. I. p. 59.

Die Wiederherstellung eines besseren Climas wurde besonders befördert, wenn die Gebirge, welche die Träger des Schnees waren, sich senkten, ganz oder doch zu einem beträchtlichen Theil unter den Spiegel des Meeres tauchten, wie in Scandinavien, Schottland, Wales etc. beobachtet wurde (cf. Lyell l. c. p. 216).

Aber auch ohne dass eine Senkung erfolgte, konnte das Stadium der Abschmelzung nicht ausbleiben. Das Terrain, über welches sich die Gletscher in Folge ihrer Dislocation ausgebreitet hatten, bot der Wärme zu viele Angriffspunkte dar. Nur so lange der Schnee oberhalb der Gränze des ewigen Schnees sich hielt, war er für die Wärme unerreichbar; sobald er diese feste Position aufgab, kehrte er mit der Zeit in den Bereich der auflösenden Wärme und damit in den Kreislauf des Wassers zurück. Die Wärme derjenigen Gegenden, die von den Gletschern nicht occupirt worden waren, glich sich allmählig in Luft- und Wasserströmungen mit der Kälte der Gegenden aus, über welche sich die Gletscher gelagert hatten und so begann der Rückzug derselben. Das Resultat musste sein, dass die Gletscher sich, ausgenommen in hochnordischen Ländern, nur noch auf den hohen Gebirgen halten konnten, wo der jährliche Abgang durch den jährlichen Zuwachs ausgeglichen wird. Auf der Südhemisphäre der Erde konnten sich die Gletscher weniger weit zurückziehen, als auf der Nordhemisphäre, weil dort, durch die Feuchtigkeitsverhältnisse hervorgerufen, der jährliche Zuwachs des Gletschermaterials grösser ist als hier. Wir kommen darauf ausführlicher zu sprechen im VIII. Abschnitt.

Der Prozess der Abschmelzung war jedoch sicher nicht in allen Fällen ein gleichmässig fortschreitender, sondern in vielen Fällen mit Schwankungen verbunden. Die gebahnten Wege für die Abfuhr des Schnees konnten durch wiederholte Oscillationen des Bodens versperrt werden, so dass sie für ihren Zweck momentan oder auf lange Zeit nicht mehr practicabel waren. Dann zog sich der Fortgang der Entladung nothwendig in die Länge. Durch eine wiederholte Hebung konnte die Ansammlung der Schneemassen auf dem Gebirg wieder aufs Neue beginnen, so dass beträchtliche climatische Schwankungen eintreten mussten

oder konnten; auf die erste Entladung folgte nach einer Pause eine zweite u. s. f.

Diese Seite unserer Erörterung möchte zur Beleuchtung einiger auffallender Thatsachen dienlich sein, die in neuerer Zeit immer bestimmter hervortreten.

Es ist der wechselvolle, sprungweise Character der Quartärzeit, wie Heer diese Erscheinung bezeichnet, die auch schon von Lyell,* bemerkt wurde.

Heer unterschied schon in seiner Urwelt der Schweiz eine interglaciale wärmere Periode zwischen zwei kälteren glacialen. Seither haben sich derartige Beobachtungen vermehrt und ziehen mit Recht die Aufmerksamkeit auf sich. Heer bringt in seiner Abhandlung über Spitzbergen** in dieser interglacialen Periode unter: das Waldbett von Norfolk, die Lager mit *Cyrena fluminalis* (eine Muschel, die heutzutage im Nil und in Kleinasien sich befindet); ferner mit *Unio littoralis* und *Hydrobia marginata*, die nicht mehr in England, aber in Frankreich vorkommen. Graf Saporta kam durch Untersuchung der Tuffflora der Provence zu gleichem Resultat, nämlich einer innerhalb der Quartärzeit fallenden wärmeren Periode (cf. Heer l. c. p. 85). Hiezu kommt nun noch das Mytilusbett in Spitzbergen (l. c. p. 85, 86), welches Heer ebenfalls in diese Periode zu verlegen sich genöthigt sieht, womit auch für Spitzbergen eine zwischenfallende wärmere Periode angedeutet ist. Wir fassen die Schwankungen des Climas und des Bodens innerhalb der quartären Zeit selbst, keineswegs als eine allgemein verbreitete, sondern nur als eine locale Erscheinung auf; die Thatsache der Senkung oder Hebung muss in den einzelnen Fällen durch Beobachtung constatirt werden. Die Schwankungen traten jedoch, wie schon zuvor angeführt wurde, in nicht wenigen Gegenden der Erde auf. In andern Gegenden haben dieselben vielleicht nicht stattgefunden oder waren von sehr beschränktem Umfang; wieder in andern Gegenden mögen sogar leichtlich mehrfach wiederholte Schwankungen vorgekommen

* l. c. p. 110.

** Polarflora, II. Abtheilung, Spitzbergen, S. 84.

sein. Man wird desshalb noch nicht berechtigt sein, generalisirend, von mehreren Eiszeiten zu sprechen; es ist nichts Anderes, als der wechselvolle Character der quartären Zeit, der in verschiedenen Gegenden sich sehr verschieden manifestirt haben kann.

Wie man leicht sieht, wird unsere Auffassung auch dieser verwickelten Erscheinungen gerecht.

VI. Nachwirkungen des quartären Climas in der Gegenwart.

Dass das Clima der Quartärzeit kein vollkommen überwundenes climatisches Stadium ist, daran mahnt uns Alles, was wir um uns wahrnehmen. Wir sind weit davon entfernt in den Polarländern oder in den mittleren geographischen Breiten des Climas uns zu erfreuen, das zur Tertiärzeit obgewaltet hat.

Nach Heer's Berechnungen beträgt die mittlere Jahres temperatur zur Zeit der untern Süsswassermolasse 9° C., und zur Zeit der oberen Süsswassermolasse 7° C. mehr als die mittlere Jahrestemperatur der Gegenwart. Für Grönland und Spitzbergen ist der Unterschied noch grösser (cf. Polarflora I. S. 72).

Wenn wir von dem quartären Clima als einem Clima der Vergangenheit reden, so ist das nur in dem Sinne richtig, dass jenes Clima zur selben Zeit noch viel schroffer auftrat, als heutzutage. Aber wir stehen in der Gegenwart noch unter einem sehr fühlbaren Einflusse, einer Nachwirkung des quartären Climas. Eine totale Ueberwindung desselben würde erst dann eintreten können, wenn:

1. Die sämmtlichen hohen Gebirge der Erde, die zur Tertiärzeit sich erhoben haben, zum mindesten so weit zurück sinken würden, dass sie nirgends mehr die Schneelinie erreichen.
2. Wenn auch die Mittelgebirge, so weit sie zur Tertiärzeit sich erhoben haben, auf ihre frühere geringere Höhe zurück gebracht würden; somit die Unebenheiten auf der Erdoberfläche überhaupt der Zahl und Höhe nach vermindert würden.

3. Wenn insbesondere die Gebirge in den Polarländern beider Hemisphären untertauchten, so dass, wenn dort auch Land sich vorfinden würde, dasselbe nur wenig über den Meerespiegel hervorragte, wie zur tertiären Zeit.

Wenn diese Bedingungen erfüllt wären, so wären die Gletscher und die Reservoir des ewigen Schnees entfernt; das Meerwasser würde durch sie nicht mehr erkältet; die polaren Luftströmungen wären nicht mehr kalt, sondern gemässigt. Man stelle sich vor, dass von den Gebirgen des antarctischen Continents und von Grönland und Spitzbergen, um von allen übrigen zu schweigen, keine Gletscher mehr ins Meer sich ergiessen, so würden nicht blos die Spätfröste, die gegenwärtig so oft bis nach Centraleuropa schädigend auf die Vegetation einwirken, aufhören, sondern das gesammte Clima würde ein anderes werden. Die Winter des wenig über das Meer erhobenen Landes würden sehr mild, schneefrei oder wenigstens schneearm werden, die Frühlingswärme würde nicht zur Schmelzung des Schnees absorbirt; damit auch die Sommerwärme erhöht. Wir kommen jedoch auf diese Umänderung des Climas ausführlicher zu sprechen im folgenden Abschnitt.

Aber auch, wenn alle Vorbedingungen erfüllt wären, so würde das wärmere Clima nicht in einem Sommer uns überraschen, sondern es würde eine gewisse Anzahl von Jahren erforderlich sein, dass die Sonnenbescheinung sowohl in das Meerwasser als in die feste Erde tief genug eindringen könnte. Denn es handelte sich nicht blos um die Wiederherstellung der Temperatur der Luft, welche sich durch Berührung nach der Temperatur von Land und Wasser richtet, sondern um die viel langsamer vor sich gehende, in das Wasser und Land eindringende Wärme. Erst nachdem so die Spuren der Nachwirkung des quartären Climas ausgetilgt sein würden, nachdem der Wärme absorbirende Factor der Quartärzeit in allen seinen Consequenzen eliminiert wäre, würde das jetzige Clima in die regelmässige Reihe der climatischen Scala, welche in der Quartärzeit so stark abgeändert wurde, eintreten können. Dabei setzen wir voraus, dass

die Vertheilung von Festem und Flüssigem auf der Erdoberfläche nicht eine bedeutend abweichende sei.

Aus Allem geht hervor, dass das Clima, welches die Erde gegenwärtig tatsächlich hat, nicht Norm für frühere Climate sein kann; insbesondere gegenüber der tertiären und vortertiären Zeit ist dasselbe zu niedrig.

Wir haben uns jedoch durch die bisherigen Erörterungen den Weg gebahnt, um auch für das tertiäre Clima ein Verständniss zu gewinnen.

VII. Das Clima der Tertiärzeit.

Sartorius erklärt (l. c. p. 329), dass, wie wir schon Eingangs bemerkten, die Temperatur der Tertiärzeit, wie sie von den Botanikern aufgestellt werde, der Wärmetheorie widerspreche, dass sie absolut zu hoch angenommen sei. Seine Gründe sind, dass 1. die Sonnenwärme eine constante Grösse sei, der sich Nichts hinzufügen und Nichts entziehen lasse, und 2. dass ein irgend merklicher Zuschuss von Seite der inneren Erdwärme bei der beträchtlichen Dicke der erstarrten Erdrinde in dieser (tertiären) Zeit unmöglich sei (l. c. p. 329, 330).

Zu Letzterem gibt auch Heer seine Zustimmung (Polarflora I. S. 74) und wird allerdings auf diese letzte Wärmequelle für die Tertiärzeit zu verzichten sein.

Dagegen ist die Frage zu untersuchen, ob die Sonnenwärme wirklich eine constante Grösse sei?

Von der säcularen Abnahme der Sonnenwärme an sich müssen wir absehen, da hierüber gar nichts mit Sicherheit ermittelt ist; auch von dem Einfluss der Sonnenflecken und ähnlicher Erscheinungen aus dem gleichen Grunde. Wir nehmen an, dass die von dem Sonnenkörper ausgehende Wärme wirklich eine constante Grösse ist; allein die Frage ist: ob die verschiedenartige Oberflächenbeschaffenheit der Erde nicht im Stande sei, die constante Grösse der von der Sonne ausgehenden Wärme für die terrestrischen Verhältnisse zu einer veränderlichen zu modificiren?

Eine Antwort gibt uns Sartorius auf S. 168, wenn er (gegen Agassiz) bemerkte, dass die constante Sonnenwärme durch verschiedene Verbreitungsweise von Land und Wasser, in verschiedener Art vertheilt werde.

Damit kann man sich einverstanden erklären; denn es ist hiemit zugegeben, dass nur die von der Sonne ausgehende Wärme eine constante Grösse sei, dass aber die Oberflächenverhältnisse der Erde auf die Sonnenwärme eventuell einen merklichen Einfluss ausüben können und eben damit dieselbe, obgleich an sich absolut gleich in ihrem Ausgang von der Sonne, doch in den Resultaten, die auf der Erdoberfläche hervorgerufen werden, eine relative Grösse ist.

Sartorius führt (S. 128) das verschiedene Verhalten von festem Land und Wasser gegen die Sonnenwärme als Ursache an, die einen sehr merklichen Einfluss auf das terrestrische Clima, auf die effective Sonnenwärme einer Gegend auszuüben vermag und verbreitet sich über See- und Continentalclima.

Allein es kommt unseres Erachtens nicht blos Wasser und Land, sondern auch, und vorzüglich Schnee und Eis in Betracht. Gerade diese letzteren sind in hohem Grade nach den Gesetzen der Physik geeigenschaftet, die Einwirkung der Sonnenwärme auf die Erde, das Clima, zu beeinflussen. Es ist bekannt, dass beträchtliche Mengen Wärme dazu erforderlich sind, um Schnee und Eis von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln.* Die hiezu verbrauchte Sonnenwärme wird latent, sie kann sich nicht mehr als effective Wärme im Clima fühlbar kundgeben.

Setzen wir nun den Fall, dass sich an verschiedenen und zahlreichen Punkten der Erde durch Erhebung der Gebirge auf weite Strecken hin die Linie des ewigen Schnees ausgebildet habe und, dass eben damit sich selbstverständlich der Schnee der Einwirkung der Sonnenwärme entzogen habe. Die Schneemassen sammeln sich in dieser für die Wärme unerreichbaren Region an; die Ansammlung führt im natürlichen Verlaufe zu

* 1 Pfund Eis von 0° , vermischt mit 1 Pfund Wasser von 79° gibt 2 Pfund Wasser von 0° . Es werden somit 79 Wärmeinheiten verschlucht zur Aenderung des Aggregatzustandes des Eises zu Wasser.

einer Dislocation; nun werden die Schnee- und Eismassen, die jetzt erst der Einwirkung der Sonnenwärme ausgesetzt werden, eine Menge von Sonnenwärme latent machen, ohne dass die Sonnenwärme ausreichend wäre, sogleich die ganze gewaltige Masse des Materials in den flüssigen Zustand zurückzuführen. Denn, wenn auch die Wärme transportabel ist, durch Luft und Wasserströmungen, so brauchen diese Strömungen doch jedenfalls Zeit, bis Succurs nach den am meisten betroffenen Gegenden gelangt und wird ihnen der Erfolg durch die näher gelegenen kalten Luftströmungen streitig gemacht. Unterdessen setzt sich das rauhe Clima in Besitz und schafft sich neue Mittelpunkte, so dass Schnee und Eis ihren Siegeszug längere Zeit fortsetzen konnten. Wenn diese Revolution sich nur auf einem einzigen beschränkten Punkte des weiten Erdenrundes vollzogen hätte, so wäre das herabgeworfene Material von Schnee und Eis bald von der Wärme überwältigt und könnte nur eine locale Störung hervorbringen. Wenn aber dieser Process an vielen Punkten und auf sehr ausgedehnten Strecken (Gebirgszügen) gleichzeitig oder fast gleichzeitig eintritt, so ist die Wirkung eine sehr tiefgreifende. Die Wärme wird von allen Seiten her in Anspruch genommen, um das Eis in den Kreislauf des Wassers zurückzuführen und wird eben dadurch latent.

So verhielt es sich vorzüglich zur Quartärzeit, so ist es aber auch noch in gewissem Grade heutzutage gegenüber der Tertiärzeit.

Es geht aus diesen Erörterungen hervor, dass die heutige effective Sonnenwärme unseres Planeten (das Clima der Gegenwart) nicht für alle Erdperioden als Maassstab gelten kann, sondern als ein singuläres aufzufassen ist.

Insbesondere für jene Erdperioden (tertiäre und vortertiäre), in welchen die Erscheinungen von Eis und Schnee entweder ganz fehlten, oder nirgends mit sehr grossem Nachdruck auftreten konnten, weil sie dem Kreislauf des Wassers sich nicht entziehen konnten, ist die heutige effective Sonnenwärme auf Erden kein richtiger, weil zu niedriger Maassstab. —

Die anfängliche Tertiärzeit kannte entweder gar kein Eis

und keinen Schnee, oder, was wahrscheinlicher, sehr wenig; sie hatte jedenfalls keine grönlandischen und antarctischen Gletscher und keine Hochgebirge mit ewigem Schnee; oder genauer, wie wir in unserm I. Abschnitt ausgeführt haben, nur die Vorbereitung zu all diesen Erscheinungen fiel in die pliocene und miocene Periode. Daraus folgt, dass damals auch sehr wenig Wärme latent gemacht wurde, um den Schnee zu schmelzen, dass somit die effective Sonnenwärme zur Tertiärzeit eine viel beträchtlichere gewesen sein muss, als zur heutigen Zeit; es muss, wenn der Ausdruck erlaubt ist, die Sonne zur Tertiärzeit zwar nicht an sich wärmer gescheint haben, aber doch wärmer gemacht haben.

Man möchte einwenden, dass, wie durch das Aufthauen Wärme absorbirt wird, so durch Gefrieren Wärme frei werde, somit eine Ausgleichung stattfinde; und es ist ohne Weiteres zuzugeben, dass, wenn eine Ausgleichung in dieser Weise statt-haben würde, so wäre ein Mehrverbranch von Wärme bei der heutigen Ordnung der Dinge und ein Ueberschuss derselben zur Tertiärzeit in der That nicht vorhanden; denn die Ziffer für die mittlere Jahreswärme würde sich gleich bleiben.

Das künstlich bewerkstelligte physicalische Experiment zeigt nun, dass allerdings, wenn flüssiges Wasser unter Nullgrad erkältet wird und die Erstarrung zu Eis dann plötzlich hervorgerufen wird, Wärme frei wird, was sich durch das Steigen des Thermometers anzeigt. Allein weder die Erkältung des flüssigen Wassers unter Nullgrad, noch das plötzliche Erstarren des Wassers zu Eis kommt in der freien Natur vor; die beim Gefrieren frei werdende Wärme trägt unter den natürlichen, unbefinderten Verhältnissen in überwiegender Maasse nur dazu bei, dass das Erstarren des Wassers zu Eis verlangsamt wird. Die auf Nullgrad erkaltenden Wassertheile erstarren und geben ihre freiwerdende Wärme an die nächstliegenden Wassertheile ab, die dadurch eine Zeitlang oder auch gänzlich vor dem Gefrieren geschützt werden.* Wenn auch ein Theil der frei-

* Cf. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik, II. S. 611, 613.

werdenden Wärme, wie nicht bezweifelt werden kann, beonders bei der Bildung der obersten Schichten des Eises, der Luft zu gut kommt und dieselbe einigermassen mildert, so ist das doch nur ein Theil, der um so kleiner wird und bald ganz ausfallen muss, sobald die Eisschicht einige Dicke erreicht hat. Ohne diese freiwerdende Wärme würde alles flüssige Wasser, sobald es unter Nullgrad sinkt, urplötzlich gefrieren, was aber in der freien Natur bekanntlich eben so wenig geschieht, als man beim Gefrieren eine freiwerdende Wärme empfindet. Diese freiwerdende Wärme ist ihrem eigentlichen Zwecke, dem Zweck der thatsächlichen Erwärmung entzogen, und dient einem fremden Zwecke, nämlich der Verlangsamung des Erstarrungsprozesses.

Es liegt somit hier der Fall tatsächlich vor, dass durch die Wegschaffung des Eises und Schnees positiv Wärme absorbirt wird, während durch das Gefrieren ein voller reeller Ersatz für dieselbe nicht geboten wird. Der Abmangel eines beträchtlichen Wärmebetrags des gegenwärtigen Climas, gegenüber dem anfänglichen tertären und vortertiären, lässt sich somit auf feste physicalische Prinzipien zurückführen.

Eine Berechnung anzustellen, wieviel Sonnenwärme durch Schnee und Eis verschlungen werde, oder umgekehrt, wieviel Sonnenwärme ehedem frei blieb und sich geltend machen konnte, da kein oder wenig Schnee auf Erden eine Stätte fand; das lässt sich wohl in Ziffern nicht apriorisch vorführen. Wenn wir auch Kenntniss von den physicalischen Gesetzen der freien und gebundenen Wärme haben, so wissen wir doch nicht die Zahl der Kubikfusse von Schnee und Eis, die in sämmtlichen Erdtheilen zur quartären Zeit und beziehungsweise zur gegenwärtigen Zeit ins Dasein getreten sind. Auch eine Vergleichung der Temperaturverhältnisse solcher Landstriche, in welchen Schneegebirge vorhanden sind, und in welchen dieselben fehlen, wird nicht zu einem richtigen Resultat führen können. Selbst jene Gegenden, die von Schneegebirgen weit entfernt sind, befinden sich doch unter dem allgemeinen tellurischen Einflusse, die der Schnee als Weltmacht über das Clima der Oberfläche der ganzen Erde direct oder indirect ausübt. Die fortwährende Ausgleichung der

Temperatur der warmen Himmelsstriche mit den kalten durch Luft- und Wasserströmungen bewirkt, dass kein Ort der Erde sich absolut frei erhalten haben kann von den Einflüssen der vorhandenen Schneemacht. Die Krümmungen der Isothermen, die überall, selbst innerhalb der Tropen vorkommen, legen eben so deutliches Zeugniß ab von dem überallhin durchdringenden Prozess der Ausgleichung von Wärme und Kälte, wie die kalten und warmen Meeresströmungen, welche die Oceane durchkreuzen. Wir brauchen kaum hervorzuheben, dass durch diese Darstellung der überallhin durchgreifenden Macht des wärmeabsorbirenden Factors der locale Ursprung der Kälteerscheinungen nicht aufgehoben wird. Wenn auch der Ursprung der Kälte ein localer war (Gebirge), so konnte dieselbe nicht auf den Ort ihres Ursprungs beschränkt bleiben, sondern musste sich in ihren Ausgleichungsversuchen über die weitesten Entfernung hin erstrecken und fühlbar machen.

Zu der Wärmeabsorption beim Schmelzen tritt sodann noch hinzu die Eigenschaft der bleibenden Schneedecke, die Sonnenstrahlen zu reflectiren. Der Verlust, der hierdurch entsteht, kann wohl nicht als ein absoluter betrachtet werden; aber er ist immerhin für die Vegetation von sehr grossem Belang. Die Pflanzen verlangen eine in die Erde eindringende Wärme zu ihrer Entwicklung und die im Winter durch die Schneedecke zurückgestrahlte Wärme kommt ihnen jedenfalls nicht unmittelbar zu gut, wie es geschehen wäre ohne die Decke des Schnees. Wenn nun auch die Berechnung des Verlusts an Sonnenwärme durch das Auftreten und Schmelzen des Schnees für die Erde überhaupt unmöglich sein wird, so bietet die Beobachtung *a posteriori* dafür einigen Ersatz.

Wenn Heer* mit sorgfältiger Erwägung der Umstände das Clima der untern Süßwassermolassezeit um 9° C. und der obern um 7° C. in den mittleren Breiten höher findet, als das der Gegenwart, so schliessen wir daraus rückwärts, dass in der Gegenwart der bestehende Einfluss des Schnees im Stande ist, die

* Urwelt der Schweiz, S. 478 und Tertiärfloren III. S. 333.

Sonnenwärme um diesen Betrag herabzumindern. Die Ziffer $7^{\circ}-9^{\circ}$ C. ist allerdings an sich sehr beträchtlich. Allein die Mengen von Eis und Schnee, die jedes Jahr auf der ganzen Erde entstehen und wieder zu Wasser werden, sind nicht minder beträchtlich. Wir dürfen nicht blos die an sich schon gewaltigen Massen in Betracht ziehen, die in Form von Eisbergen in die Meere sich ergiessen und dort aufthauen; auch nicht blos die Mengen, welche von den Hochgebirgen jährlich als Gletscher in die Tiefe der Thäler entsandt werden, sondern besonders auch die Schnee- und Eisdecke, die in mittleren geographischen Breiten viele Tausende von Quadratmeilen vorübergehend deckt, heute erscheint, um in einigen Tagen unter Verbrauch von viel Wärme wieder zu verschwinden und wieder zu erscheinen. Die oft so lang anhaltende unbehagliche Uebergangszeit von der warmen zur kalten Jahreszeit und umgekehrt, absorbiert in unseren Breiten ungemein viel Wärme. Ist dann endlich die Schneedecke für längere Zeit eingetreten, so werden durch sie die warmen Sonnenstrahlen reflectirt, und wenn sie dadurch auch nicht absolut verloren gehen, so kommen sie doch der Oberfläche der Erde nicht unmittelbar zu gute. Die Luftströmungen in unseren Breiten sind, wenn sie von dem Pol herwehen, selbstverständlich kalt, was sie zur Tertiärzeit nicht gewesen sein konnten, da selbst in den polaren Ländern ein gemässigtes Clima war.

Wehen dieselben vom Aequator her, so müssen sie bei der heutigen Ordnung der Dinge zum Theil hohe Gebirge passiren (Alpen, Himalaya), die mit ihren Schneevorräthen einen guten Theil ihrer Wärme verschlingen, so dass dieselben bei uns als feuchte, Regen bringende Winde im Sommer auftreten, die keineswegs eine Erhöhung der Temperatur im Gefolge haben. Zur Tertiärzeit war das anders, weil die Gebirge fehlten. Die kalten und warmen Meeresströmungen waren ohne Zweifel zur Tertiärzeit und früher nicht so lebhaft, als heutzutage. Es fehlte der scharfe Gegensatz von Wärme und Kälte. Während heutzutage die warmen und kalten Strömungen mit einander ringen und hier die einen, dort die andern sich im Uebergewicht befinden, ist es sicher, und auch paläontologisch direct nachweisbar, dass zur

Tertiärzeit und früher die Temperatur des Meeres gerade so, wie die des Landes eine höhere war; der heutige Kampf zwischen beiderlei Strömungen wird wesentlich und allein auf Kosten der ursprünglichen grössern Wärme geführt. Erst gegen das Ende der Tertiärzeit und hauptsächlich zur Quartärzeit ist der Wärme ein so mächtiger Gegner erwachsen, der bis auf den heutigen Tag sich hält. So macht sich der Wärme absorbirende Factor des Schnees und Eises in allweg heutzutage noch sehr fühlbar geltend.

Alles in Allem genommen, glauben wir, dass eine Temperaturdifferenz von 7° — 9° C. für die mittleren Breiten nicht nur nicht unannehmbar, sondern recht mässig sei und in einem guten Verhältnisse stehe zu dem Verlust an Wärme durch die Wirkung des Schnees in unserer gegenwärtigen Erdperiode. Zu erwarten ist, dass der Wärmeabmangel, der für die mittleren geographischen Breiten sich herausstellt, nicht für alle übrigen Breitengrade gelten werde. Die höheren Breitengrade liegen dem Centrum der gegenwärtigen Herrschaft des Schnees und seinen stärksten Wirkungen näher, desshalb wird da ein stärkerer Abmangel an Wärme des heutigen Climas gegenüber dem tertiären sich herausstellen müssen; die niedrigen Breiten gegen den Aequator sind auch heutzutage dem Einflusse des Schnees nicht unmittelbar unterworfen, wiewohl sie mittelbar nicht ganz unberührt bleiben. Bei ihnen wird sich der Abmangel an Wärme gegenüber dem Tertiärclima relativ beträchtlich geringer ergeben müssen, beziehungsweise kaum mehr wahrnehmbar sein können. Damit stimmt in überraschender Weise überein, was Heer in seiner Polarflora (I. S. 73) ausführt, dass nämlich die miocene Naturwelt der Tropen, wenn auch noch wenig bekannt, doch wenig von der jetzt dort existirenden zu differiren scheine; so die miocene Flora von Java und die in den Vorbergen des Himalaya und in Centralindien entdeckte tertiäre Thierwelt. Sie scheinen zu zeigen, „dass in der Tropenwelt während der Miocenperiode dieselben Wärmeverhältnisse herrschten, wie jetzt und dass erst vom Wendekreis des Krebses nach Norden hin eine allmähligere Wärmeabnahme stattfand, als diess heutzutage

der Fall ist. Der Hauptunterschied der Wärmeverhältnisse der miocenen und jetzigen Zeit besteht also darin, dass gegenwärtig polwärts vom 30° Breitegrad aus eine raschere Wärmeabnahme stattfindet, als zur miocenen Zeit.“ Damit steht im Einklang, dass nach demselben Gelehrten (l. c. I. S. 72) die Zugabe von 9° C. wohl für die Schweiz, auch noch für Danzig und Island ausreicht, aber nicht mehr für Nord-Grönland, Spitzbergen und den Mackenzie.

Der erkältende Einfluss, den die Anwesenheit des Schnees auf das Clima der Erde in der Gegenwart ausübt, lässt sich somit nicht blos im Allgemeinen darthun, sondern es scheinen sich sogar die zonenweisen Abstufungen seines Einflusses verfolgen und erkennen zu lassen.

Es wäre somit für die Tertiärzeit nicht eine neue, ihr eignenthümliche Wärmequelle zu suchen, sondern nur zu constatiren, dass die Sonnenwärme zur tertiären Zeit wegen der damaligen Beschaffenheit der Oberfläche des Planeten (Abwesenheit von Schnee) im Stande war, besonders in den mittleren und höheren Breitegraden, eine grössere Wärme auf Erden zu erzeugen, als sie in der Gegenwart vermag bei ihrer gegenwärtigen Beschaffenheit, bei der Anwesenheit von Eis und Schnee. Die Mitwirkung anderer Factoren will hiemit nicht ganz ausgeschlossen werden. Von einigem Einflusse konnte eine andere Anordnung und Vertheilung von Land und Meer gewesen sein.

Allein es ist sehr schwierig, sich darüber irgend eine bestimmte Vorstellung zu machen. Wir kennen wohl, wenn auch keineswegs genau, jene Strecken, welche in früheren Perioden unter Wasser standen und heutzutage aufgetaucht sind, aber nicht jene, die heutzutage unter Wasser stehen, während sie früher festes Land waren. Und doch spricht so Manches nicht blos für das Vorhandensein eines ehemaligen Continents im Atlantischen Meer (Atlantis), sondern auch im Stillen Ocean ist das noch fort-dauernde Niedersinken eines Continents durch Darwin's Erklärung der Corallenriffe der Südseeinseln nahezu erwiesen. Aber über Lage, Höhe, Umfang dieser Continente wissen wir Nichts. Wir müssen daher von diesen ganz ungreifbaren Möglichkeiten

absehen. Ohnehin sind die durch Abänderungen in der Vertheilung von Land und Meer hervorgerufenen climatischen Aenderungen oft überschätzt worden.

Sartorius setzt den Fall (l. c. p. 140), dass die eine Halbkugel der Erde vom Aequator bis zum 54. Grad ganz mit Land und von da bis zum Pole ganz mit Meer bedeckt sei; die andere Halbkugel umgekehrt, vom Aequator bis zum 54. Grad ganz mit Wasser und von da weg zum Pol ganz mit Land bedeckt sei, und berechnet für diese möglichst ungünstige Vertheilung von Land und Wasser eine Temperaturdifferenz beider Erdhälften von $4^{\circ}0,070$ R., so dass $2^{\circ}0,035$ R. von der einen auf die andere Erdhälfte übergeführt werden könnten. Nach dieser Berechnung dürfen wir die climatischen Aenderungen, welche durch eine ungleichartige Vertheilung von Land und Wasser überhaupt hervorgerufen werden können, nicht beliebig gross und überhaupt nicht sehr gross uns vorstellen. Nur in gewissen Zonen ist der Unterschied, wie Sartorius (l. c. p. 124 und 130) anführt, unter dem Aequator, bedeutend und zwar hier zu Gunsten einer grösseren Wärme bei Landbedeckung; in den polaren Zonen aber umgekehrt, nämlich zu Gunsten einer grösseren Wärme bei Wasserbedeckung. Ohne Zweifel war aber zu jeder Zeit Land und Wasser über die verschiedensten Breitegrade hin unregelmässig vertheilt, so dass im Grossen und Ganzen eine gewisse Ausgleichung stattfand, und die hiedurch bewirkte mögliche Temperaturdifferenz jedenfalls nicht von grossem Belang war. Sicher ist zu keiner Zeit die oben von Sartorius zu Grund gelegte, exquisit ungünstige Vertheilung vorhanden gewesen. Sartorius ist desshalb im Rechte, wenn er (l. c. p. 145) sich dahin ausspricht, dass die ungleichartige Vertheilung von Festem und Flüssigem nicht hinreichend sei, um die Gletschererscheinungen der Diluvialzeit zu erklären.

VIII. Beurtheilung der neueren Theorien über die climatische Frage.

Um den Gang unserer Darlegungen nicht zu unterbrechen, haben wir nur ausnahmsweise auf die kritische Beleuchtung der

bestehenden Theorien unser Augenmerk gerichtet. Es ist jedoch eine Besprechung, jedenfalls der neueren Theorien, unausweichlich.

Gegenüber den älteren Hypothesen, von denen wir absehen können, stellen sich die neueren Theorien auf einen entschieden günstigeren Standpunkt dadurch, dass sie climatische Zustände, die heutzutage noch bestehen, zum Ausgangspunkt nehmen, um die entfernteren Zustände der Vorwelt zu beleuchten. Sie gehen von der anerkannten Thatsache aus, dass das Clima der Südhalbkugel der Erde ein beträchtlich rauheres ist, als das der entsprechenden Breiten auf der Nordhalbkugel; dass insbesondere die Gletscher auf der südlichen Hemisphäre sich viel tiefer herabziehen, als auf der nördlichen in gleichen Breiten. Dieser Unterschied ist so auffallend, dass ganz lebhafte Erinnerungen an den climatischen Zustand unserer Gegenden zur Eiszeit hervorgerufen werden; man fasste diese Wahrnehmung in den kurzen prägnanten Satz zusammen: die Eiszeit besteht auf der Südhälfte der Erde noch fort. Darwin* zog in seinen naturwissenschaftlichen Reisen, somit anfangs der dreissiger Jahre schon diese Parallele. Gewiss liegt es sehr nahe und ist ganz berechtigt zu schliessen, jedoch mit der nöthigen Vorsicht, dass die Ursachen, welche heutzutage solche Wirkungen hervorrufen, auch in der Vorwelt thätig gewesen sein werden, um das Clima der Eiszeit hervorzurufen.

Die Ursachen nun, welche für Erklärung der Temperaturverhältnisse der Südhalbkugel namhaft gemacht werden, sind theils astronomische, theils physicalische.

Die astronomische Begründung lässt sich kurz so geben. Da die Erdbahn nicht ein Kreis, sondern eine Ellipse ist, so muss die Erde in ihrem Aphelium länger verweilen, als in ihrem Perihelium; der Winter derjenigen Halbkugel, der ins Aphelium fällt, ist somit länger und gleichzeitig der Sommer kürzer, als auf der andern Halbkugel. Da nun der Winter der Südhalbkugel ins Aphelium fällt, so ist ihr Winter länger, ihr Sommer kürzer, damit ihr Clima kälter, als auf der Nordhalbkugel, wo gerade

* l. c. I, p. 284.

die entgegengesetzten Verhältnisse obwalten. Die Anwendung zur Erklärung der Eiszeit ist leicht und lautet: wie gegenwärtig die südliche Halbkugel, so hatte ehedem die nördliche ihren Winter im Aphelium und desshalb ein so rauhes Clima. Allein die tüchtigsten Astronomen sprechen sich gegen diese Ansicht aus. Wir führen einen betreffenden Passus von Arago* an: „Durch Micrometermessungen hat man gefunden, dass, wenn man die Periheldistanz der Erde zu 100 annimmt, die Apheldistanz = 113 ist. Die Sonne erleuchtet aber und erhitzt einen gegebenen Horizont auf der Erde um so mehr, je näher sie ist; um so weniger, je ferner sie ist und zwar im Verhältniss des Quadrats der Entfernung. Nun geht die Sonne im Dezember durch ihr Perihel und im Juni durch ihr Aphel; ist also während des Frühjahrs und Sommers der nördlichen Halbkugel möglichst weit von der Erde, dagegen ihr möglichst nahe während des Herbstes und Winters derselben Hemisphäre. Der geringere Abstand der Sonne in diesen beiden letzten Jahreszeiten muss dahin wirken, die Kälte zu mässigen, und ihr grösserer Abstand im Juni, die Wärme des Sommers und Frühlings zu vermindern. Das Umgekehrte findet statt auf der südlichen Halbkugel. Alles Vorgetragene ist an sich klar; vergessen wir aber nicht, dass die Sonne sich bei grösserem Abstand langsamer, bei kleinerem aber schneller bewegt, und dass in Folge dieser Ungleichheiten in der Geschwindigkeit die Sonne acht Tage länger braucht, um von dem Frühlingsäquinoctium zum Herbstäquinoctium zu gelangen, als um die entgegengesetzte Bahn vom Herbstäquinoctium bis zum Frühlingsäquinoctium zurückzulegen. Die beiden warmen Jahreszeiten in unserer Hemisphäre sind somit sicher etwas kälter, als die beiden warmen in der südlichen Halbkugel, haben aber dafür eine längere Dauer. Werden alle Umstände in Rechnung gebracht, so ergibt sich eine vollständige Compensation. Man findet, dass die Sonne trotz der Verschiedenheit ihrer Entfernung doch beiden Halbkugeln genau dieselbe Wärmemenge

* Populäre Astronomie, B. IV. S. 461; in gleicher Weise auch Herrschel, cf. Le Hon: l'homme fossile, p. 266.

spendet; also nicht in einem astronomischen Umstände, der mit der elliptischen Form der Erdbahn zusammenhängt, nicht in den Verschiedenheiten der Entfernung dieses Gestirns von der Erde haben wir den Grund zu suchen für die Ungleichheit der mittleren Temperaturen beider Hemisphären. Ich wiederhole nochmals: Alles, was jene Verschiedenheit in der Entfernung herbeiführen kann, beschränkt sich auf eine ungleiche Vertheilung der Temperaturen in den verschiedenen Monaten des Jahres; in Bezug auf den Mittelwerth ist sie gänzlich ohne Einfluss.“

Soweit Arago. Hierdurch wird die ganze Anschauung in ihrer Grundlage erschüttert und ist nicht mehr geeignet, zur Erklärung der Eiszeit herbeigezogen zu werden. Aber, wenn selbst diese Theorie zur Erklärung des Climas der Südhemisphäre auf solideren astronomischen Gründlagen stünde, als sie zu stehen scheint, so würden ihrer Herbeiziehung zur Erklärung des Quartärclimas noch manche Bedenken entgegenstehen.

Es wäre vor Allem unausweichlich, dass eine Wiederkehr abwechselnd kalter und warmer Perioden in, geognostisch gesprochen, kurzen Zeiträumen von 10,500 Jahren stattfinden müsste, wofür der Nachweis fehlt. Die Aunahme vieler Geologen, dass zwei Eiszeiten eingetreten seien, lässt sich auf den wechselvollen Character der Quartärzeit zurückführen (cf. Abschnitt V.) und ist in Anbetracht der zahlreichen geognostischen Formationen ohnehin an sich durchaus nicht zureichend. Das räthselhafte Vorkommen von Granitblöcken im Flysch* ist ebenfalls kein begründeter Anhaltspunkt. In dieser Formation kommen Fische vor (die Glarner Fische), welche auf entschieden warmes Clima hinweisen (cf. Heer, l. c. p. 237), das auch durch die Fische des eocenen Monte Bolca bestätigt wird. Ueber andere angebliche Eiszeitspuren beziehen wir uns auf Cotta's Geologie der Gegenwart, S. 335. — Selbstverständlich würde durch diese Theorie nur ein relativer Unterschied zwischen Nord- und Südhälfte der Erde begründet; es wäre somit nothwendig anzunehmen, dass, während die Nordhälfte ein sehr rauhes, die Südhälfte gleich-

* Cf. Heer, Urwelt der Schweiz, S. 242.

zeitig ein sehr warmes Clima gehabt haben müsste, wofür der Nachweis ganz fehlt.

Endlich wäre diese Theorie noch aus dem Grunde zur Erklärung der climatischen, vorweltlichen Erscheinungen ungenügend, weil sie nicht zureicht, um den beobachteten, an sich sehr hohen Grad der Wärme des Tertiärclimas zu beleuchten. Der nördlichen Halbkugel fällt heutzutage nach jener Theorie das warme Clima gegenüber der Südhälfte zu, und doch steht die Temperatur der Nordhälfte noch ganz beträchtlich hinter der der Tertiärzeit zurück. Man käme somit in die Lage, für das Tertiärclima immerhin noch eine specifische Wärmequelle suchen zu müssen, welche diese Theorie nicht vorzuführen vermag. Wir müssen aber darauf bestehen, dass eine Theorie, die unzureichend ist, das Tertiärclima den Beobachtungen entsprechend zu erklären, überhaupt ungenügend ist.

Die physikalische Begründung des Climas der Südhälfte beruft sich darauf, dass dort, wie bekannt, das Wasser einen beträchtlich grösseren Theil der Oberfläche bedeckt, als auf der Nordhälfte; man zieht daraus Folgerungen für das Clima der Eiszeit.

Es ist gar nicht zu beanstanden, dass grössere Wasserbedeckung grössere Feuchtigkeit und vermehrte Niederschläge im Gefolge habe, und dass vermehrte Niederschläge den Gletschern ein üppigeres Gedeihen geben. Jene Gletscher, welche ein sehr starkes Material von Schnee jährlich abzuführen haben, bedürfen eines grösseren Raumes und müssen sich folglich tiefer abwärts ziehen, als in solchen Gegenden, wo schwächere jährliche Niederschläge ein kleineres Material aufhäufen. Auf Neuseeland hat Hochstetter* das verschieden tiefe Vordringen der Gletscher auf den beiden verschiedenen feuchten Seiten der Insel mit Bestimmtheit beobachtet; am Himalaya reichen die Gletscher auf der Südseite, d. h. auf der den feuchten Seewinden ausgesetzten Seite tiefer hinab, als auf der trockeneren Nordseite. Dass diese verstärkten Gletscher dann ihrerseits durch Luft- und

* Franz Josefs-Gletscher, S. 7.

Wasserströmungen darauf hinwirken, das Clima überhaupt rauher zu machen, ist nicht in Abrede zu ziehen. Die Bedeutung der grösseren Feuchtigkeit für das Clima der südlichen Halbkugel ist somit gar nicht zu beanstanden. Wir möchten nur noch als mitwirkende Ursache hinzufügen die von Sartorius hervorgehobene Lage eines grossen und gebirgigen Continents in sehr ungünstiger Lage am Südpol. Sartorius glaubt sogar, dass das Vorhandensein dieses Continents für sich allein schon die grössere Kälte der Südhalbkugel erkläre. (Cf. l. c. p. 144.)

Allein bei Anwendung dieser für die Erklärung des Climas der Südhälfte richtigen Sätze, auf das Clima der Quartärzeit müssen wir mit grösster Vorsicht verfahren. Sie lassen sich offenbar nur dann mit Recht auf die Temperaturverhältnisse der Vorwelt anwenden — wenn auch die übrigen, besonders die orographischen Verhältnisse der Vorwelt genau oder auch nur annähernd denjenigen gleich waren, wie sie auf der Südhalbkugel heutzutage bestehen. Das trifft aber nicht zu und desshalb müssen wir die Anwendbarkeit dieser Theorie auf die vorzeitlichen Verhältnisse entschieden in Abrede ziehen.

Heutzutage bestehen auf beiden Halbkugeln hohe Gebirge, welche die Schneelinie überragen und so eine Heimstätte des Schnees und der Gletschererscheinungen bilden. Wenn man nun wahrnimmt, dass auf der einen Halbkugel die Gletscher tiefer vordringen, als auf der andern, überhaupt das Clima ein rauheres ist, als auf der andern, was mag die Ursache davon sein? Offenbar, wenigstens mit, die grössere Feuchtigkeit, die vermehrten Niederschläge in Form von Schnee. Wenn die orographischen Verhältnisse auf Erden so beschaffen sind, wie sie heutzutage sind, wenn Schneegebirge auf beiden Halbkugeln sich vorfinden, so liegt die Entscheidung über das Mehr oder Weniger der Gletscherausdehnung vorzüglich in dem grösseren oder geringeren Grade der Feuchtigkeit und der Menge der Niederschläge. Wenn aber die orographischen Verhältnisse der Erde ganz andere sind, wenn hohe Gebirge, welche die Schneelinie erreichen, noch gar nicht bestanden, wie zur anfänglichen Tertiär-

zeit, wenn selbst in mittleren geographischen Breiten eine durchschnittliche Jahrestemperatur von 18—20° C. herrschte, — was wird bei solchem Zustande der Erdoberfläche erforderlich sein, um ein so rauhes Clima hervorzurufen, wie das quartäre war? Gewiss nicht ein Mehr von Wasser, sondern es müssen zu allererst Gebirge erhoben werden, welche die Schneelinie überragen. Auf diesen Höhen sammelt sich der Schnee an. Wenn der Schnee alsbald abfliessen könnte, so könnte er auch nicht einen so sehr tiefgehenden Einfluss auf die Aenderung des Climas erreichen; die Wirkung würde nicht ganz aufgehoben, aber doch sehr beträchtlich geschwächt werden, weil die Schneemassen dem Kreislaufe des Wassers nicht ganz entzogen wären, sondern fortlaufend in denselben zurückkehren würden. Wenn aber die Schneemassen sich auf den Höhen der Schneegebirge ansammeln und lange Zeit dem Kreislaufe des Wassers geradezu entzogen sind, dann vermag der Schnee, bei seiner endlichen Dislocirung, die tiefstgehenden Revolutionen in den climatischen Verhältnissen einzuleiten und durchzuführen. In ähnlicher Weise vermag ein Bach, der seinen geregelten Abfluss hat, keine auffallenden Störungen hervorzubringen; wenn aber sein Abfluss verhindert wird und er genöthigt ist, sich lange Zeit anzusammeln, so durchbricht er in einem gegebenen Moment die Hindernisse und ist im Stande, Verwüstungen anzurichten. (Cf. Abth. I—III.) Wegen der grossen Bedeutung der Sache müssen wir etwas näher eingehen. Grosse Wasserflächen bewirken ein oceanisches Clima, das im Sommer und Winter möglichst gleichmässig ist und dabei feucht. Aber Feuchtigkeit und Wärme schliessen sich nicht aus. Die Paläontologie vermag darüber die deutlichsten Aufschlüsse zu geben. Wenn es auch schwer hält, das Verhältniss von Festland und Wasser zu irgend einer früheren Periode mit einiger Sicherheit anzugeben, so wird sich doch in keiner Weise behaupten lassen, oder auch nur mit einem Schein von Gründen unterstützen lassen, dass in irgend einer der ältern Formationen weniger Wasser und mehr Land auf der Oberfläche der Erde sich befunden habe, als heutzutage. Im Gegentheil kann man gar nicht umhin, zuzugeben, dass alle früheren Erdperioden mehr Wasser

hatten und weniger Land als heutzutage, und je älter desto mehr. Bronn* nennt dies den terripetalen Charakter der Entwicklung der Erde. Auch die Tertiärzeit noch hatte Wasser genug; die tertiären Meere waren nicht kleiner im Umfange, als die heutigen, und überdies das Land mit Wasser reichlich durchfeuchtet. Heer ** sagt in seiner Urwelt der Schweiz: „der grosse Reichthum an Holzgewächsen und immergrünen Bäumen wie die zahlreichen Sumpfpflanzen und die auf ausgedehnte Torfmoore hinweisenden Braunkohlenlager lassen nicht zweifeln, dass das Clima der Molassezeit ein fenchtes gewesen sei und die Regentage wohl über einen grossen Theil des Jahres vertheilt wareu.“ Und S. 445: „die meisten Vergleichungspunkte mit der Flora der Molassezeit bieten uns die Moräste dar, welche im Süden der vereinigten Staaten über unermessliche Ländergebiete sich ausbreiten.“ Auch die Thiere der Tertiärzeit weisen auf reichliche Sättigung mit Wasser hin, sowohl die weitverbreiteten und zahlreichen Crocodile und Schildkröten, als auch die überraschend grosse Anzahl und Artenzahl der Sumpf- und Wasser-liebenden Pachydermen. Aber trotz Ueberfluss an Wasser und Feuchtigkeit bestand zur Tertiärzeit kein rauhes, sondern ein warmes gleichmässiges Clima selbst in den mittleren Breitegraden. Auf einen Zuschuss der innern Erdwärme, den man allerdings früher so gern in Anspruch genommen hat, ist wenigstens für die Tertiärzeit zu verzichten. Sartorius hat nachgewiesen, dass bei der zunehmenden Dicke der Erdrinde, derselbe schon zur Zeit der Trias schwach war und nicht 1° betragen konnte, dass für die Tertiärzeit nur noch $0,090^{\circ}$ berechnet werden können. Die Erscheinungen der Kältezunahme während der Tertiärzeit selbst, besonders während der pliocenen Periode, die wir in Abschnitt IV. hervorgehoben haben, fallen in eine Periode, welche durch weitverbreitetes Emportauchen und Emporheben des Landes ausgezeichnet ist, *** womit eine Verminderung des Wasserspiegels selbstverständlich angezeigt ist.

* Cf. Untersuchungen über die Entwicklungsgesetze etc. S. 123.

** l. c. p. 478.

*** Cf. Heer, Urwelt der Schweiz, S. 574.

Was endlich die quartäre Periode selbst anbelangt, so verlangt die Theorie, welche sich auf die Analogie des Climas der Südhemisphäre beruft, dass eine Wasserbedeckung auf der Nordhalbkugel zu dieser Zeit vorhanden gewesen sein müsse, von ähnlich grossem Umfang wie heutzutage auf der südlichen Halbkugel. Es müsste somit auf die Hebungsperiode der plio-cenen Zeit eine Senkungsperiode in grossem Umfang gefolgt sein; und in Folge dieser Senkung müsste die Temperatur, welche in mittleren geographischen Breiten zuvor ungefähr 18° C. betrug, so herabgemindert worden sein, dass zur quartären Zeit unter den gleichen Breitegraden eine subpolare Temperatur Platz greifen konnte! Das ist unmöglich. Man begreift ganz gut, dass Sartorius, um eine Milderung des Climas zu motiviren, Senkungen der Erdoberfläche zu Hilfe nimmt; dass aber das rauhe Clima der Eiszeit seine Erklärung finden soll und seinen Grund haben soll in dem Niedersinken der Erdoberfläche (was doch die nothwendige Voraussetzung einer grossen Wasserbedeckung ist), das ist nicht einzusehen. Freilich ist mit jeder Hebung auch eine Senkung verbunden, aber doch nur in dem Sinne, dass die Meere tiefer werden, bei gleichzeitiger Verminderung ihrer Oberfläche und ihres Umfangs.

Der Beweis für eine viel grösse Wasserbedeckung der Nordhalbkugel ist aber unseres Erachtens gar nicht zu erbringen. Man weist auf die nordosteuropäische Ebene hin, die zu jener Zeit mit Wasser bedeckt war. Allein der Umfang dieser Strecke ist, weil Sibirien * die Erscheinung der erratischen Blöcke nicht aufweist, kein sehr beträchtlicher. Andererseits darf man nicht übersehen, dass zur quartären Zeit auf der nördlichen Halbkugel Land vorhanden gewesen sein muss, wo heutzutage Wasser ist. Es ist das begreiflich nicht direct nachzuweisen, es lassen sich aber auf anderem Wege Thatsachen anführen, welche einem Beweise gleichkommen. Dies ist hauptsächlich die Verbreitung der circumpolaren Thierwelt.

* Cf. Rütimeyer: Thal- und Seebildung, S. 78.

Nach Rütimeyer* bietet diese Thierwelt die in ihrer Benennung ausgesprochene eigenthümliche Erscheinung dar, dass sie rings um den Nordpol, d. h. um die höheren nördlichen Breiten herum verbreitet ist „und gerade da am wenigsten unterbrochen ist, wo heute der grösste Riss sich befindet. Die beiden einander zugewandten Abhänge des atlantischen Thales, Nordamerica und Europa, zeigen eine weit geringere Unterbrechung der Thiergesellschaft, als die einander genäherten Steilränder des pacifischen Beckens. Die Zusammenghörigkeit der Thierwelt des gesammten Nordens vom Flussgebiet des Mackenzie über Grönland, Scandinavien bis Kamtschatka und Japan ist in neuerer Zeit durch die Expeditionen der Russeu ins hellste Licht gesetzt worden. Das ganze bewaldete Sibirien bis zum 50° Breite weist nach Radde keine einzige Säugetierform, die es nicht mit Europa und Nordamerica theilte; von den 32 Genera, welche den Gesamtbestand der Fauna von Südostsibirien ausmachen, sind nur 9 von Nordamerika ausgeschlossen.“

Die hier in Betracht gezogene circumpolare Thierwelt umfasst speciell die Säugethiere, Mammuth, Pferd, die grossen Wiederkäuer etc. Ein Transport auf schwimmenden Eisbergen über die ganze Breite des atlantischen Meeres ist bei diesen Thieren aus Gründen, die wohl nicht ausführlich erörtert werden müssen, ausgeschlossen. Auch die Schnecken sind circumpolar (cf. v. Martens, in den Württ. Jahresheften 1855, S. 174).

Aehnlich verhält es sich mit den Pflanzen. Nach Heer** verbreitete sich „die nordische Flora zur Gletscherzeit nicht blos in unsere Gegenden, sondern auch über die americanischen Gebirge, so dass von den verhältnissmässig wenigen Pflanzen, welche America gegenwärtig mit Europa theilt, die meisten dem Norden Europas und unseren Alpen angehören.“

Thiere und Pflanzen weisen somit unzweifelhaft auf Landverbindungen zur quartären Zeit hin in Gegenden, die heute durch das atlantische und stille Meer stark unterbrochen sind. Wie

* Herkunft unserer Thierwelt, S. 43, 44.

** Urwelt, S. 588 und Polarflora, II. Abthl., Alaska S. 12.

gross der Quadratmeileninhalt dieser Länder im Verhältniss zum Umfang des ehemaligen Meeres im jetzigen Nordosteuropa etc. gewesen sei, lässt sich allerdings nicht angeben; eben so wenig, ob die Verbindung eine ununterbrochene gewesen sei, oder durch eine Kette von nahe bei einander liegenden Inseln hervorgebracht worden sei. Auf kleinere Landverbindungen zwischen Frankreich und England etc. wollen wir keinen besondern Werth legen. Wir fügen nur noch bei, dass die fossilen Organismen der diluvialen Formation in den soweit verbreiteten Gebilden des Lösses, der Gerölle, des Pampasschlammes, sowohl was die Wirbelthiere anbelangt (Mammuth etc.), als auch in Betreff der wirbellosen Thiere (*Helix*, *Succinea*) gegen eine Wasserbedeckung in dieser Zeit und ganz speciell gegen eine Meeresbedeckung sprechen.

Angesichts dieser Thatsachen wird man nicht behaupten können, dass zur quartären Zeit mehr Wasserbedeckung auf der Nordhalbkugel vorhanden gewesen sei, als heutzutage.

Durchaus unzulässig ist es, solche Wasserbedeckungen, die zur tertiären Zeit bestanden hatten, in Verbindung zu bringen mit den climatischen Erscheinungen der Quartärzeit. Ein Theil der Erdoberfläche, der zur Quartärzeit aufgehört hatte mit Wasser bedeckt zu sein, konnte als Feuchtigkeitsquelle keinen Einfluss mehr ausüben auf das Clima eben dieser Zeit. Es ist dabei gleichgültig, ob die Wasserbedeckung schon in der Jura-zeit oder erst in der Pliocenzeit verschwunden sei.

Die grössere Ausdehnung der Gletscher zur quartären Zeit lässt sich auch ohne eine grössere Wasserbedeckung und Feuchtigkeit ganz einfach dadurch erklären, dass der Schnee wegen man gelnder Abfuhrwege auf der Höhe der Gebirge sich ansammeln musste, wie wir in Abschitt I. auszuführen uns bemüht haben.

Fassen wir zusammen: die ganze tellurische Entwicklung spricht dafür, dass mit einer früheren grösseren Wasserbedeckung nicht ein kaltes Clima verbunden war, sondern dass im Gegentheil die Kälteerscheinungen erst hervorgerufen wurden im Gefolge des Zuwachses von Land, besser in Folge der Emporhebung des Landes zu hohen Gebirgen. Geologie und Paläontologie legen darüber vollgültiges Zeugniß ab. Die climatischen

Erscheinungen der Südhälfte der Erde gegenüber denen der Nordhälfte in gegenwärtiger Zeit werden ganz richtig durch grössere Wassermassen und Feuchtigkeit daselbst erklärt; aber erst, wenn Gebirge, auf denen sich Schnee bleibend niedersetzen kann und Gletscher sich ausbilden können, schon vorhanden sind, so fällt der Ausschlag, ob auf der einen Halbkugel oder auf der andern, ja sogar, ob auf der einen Seite des Gebirgs oder auf der andern, dieselben tiefer vordringen, auf die grössere Feuchtigkeit und Menge der Niederschläge. Wenn aber und so lange überhaupt keine hohen Gebirge auf Erden vorhanden sind, so vermag die Fülle des Wassers für sich allein kein Eiszeitclima sondern nur ein oceanisches hervorzurufen. Den Feuchtigkeitsverhältnissen kommt bei der Gletscherfrage nur eine secundäre Bedeutung zu; die eigentliche Grundlage und primäre Ursache liegt in der Erhebung der Gebirge über die Schneelinie. Letztere muss als die *conditio sine qua non* ausgesprochen werden.

Das Fehlerhafte des Analogieschlusses von den Verhältnissen der Südhemisphäre auf das Quartärclima liegt darin, dass für die Perioden, welche der Eiszeit vorangingen, die gleichen Höhenverhältnisse der Erde stillschweigend angenommen wurden, wie für die Zeit nach derselben und für die Gegenwart. Die Polarexpeditionen nach Süd und Nord und die Fortschritte der Geognosie überhaupt, lassen aber diese Annahme als eine nicht stichhaltige erweisen.

Diese auf die Analogie der Temperaturverhältnisse der Südhemisphäre sich beziehende Theorie zur Erklärung des Quartärclimas ist als die zur Zeit herrschende aufzufassen (cf. Cotta, Geologie der Gegenwart, S. 338). Die verschiedenen Modificationen derselben, welche durch die verschiedenen Auctoren ausgebildet worden sind, glauben wir nicht im Einzelnen besprechen zu müssen. Einige andere Theorien erachten wir jedoch gerade wegen ihrer Abweichung von der herrschenden nicht umgehen zu dürfen.

Tyndall* und (nach Sartorius) schon früher Frank-

* Das Wasser in seinen Formen, S. 183.

land und De la Rive suchen die Ursache der massenhaften Niederschläge, welche die enorme Entwicklung der Gletscher hervorgerufen haben sollen, nicht in einer beträchtlich vergrösserten Wasserfläche, sondern in der damals bestehenden grösseren Wärme. Allerdings bildet sich im Gefolge der gesteigerten Wärme eine grössere Verdunstung und können sich in Folge dessen die Niederschläge beträchtlich vermehren. Sartorius bemerkt jedoch dagegen gewiss mit Recht, dass wenn solche Verhältnisse wirklich bestanden hätten, nicht eine Vergrösserung, sondern eine völlige Vernichtung der Gletscher bewirkt worden wäre (l. c. p. 196).

Sollte es nicht vielmehr liegen, anstatt zur Erklärung der grossen Ausdehnung der Gletscher, gewaltig vermehrte Niederschläge und in letzter Instanz sogar gesteigerte Wärme in Anspruch zu nehmen, anzuerkennen, dass das Gletschermaterial auf dem Gebirge wegen mangelnder Abfuhrwege sich nach und nach ansammeln musste, und auf solche einfache ungezwungene Weise die massenhaften Gletscher sich ausbilden konnten?

Professor Dr. Heer enthält sich, eine eigene Theorie aufzustellen oder einer der bestehenden seine volle Zustimmung zu geben und beschränkt sich auf die Möglichkeit einer verschiedenen Stellung des Sonnensystems in verschieden warmen Regionen des Weltraums hinzuweisen (*Polarflora*, I. S. 77). — Auf das Werk und die Theorie von Professor Sartorius von Waltershausen haben wir uns in dem Vorstehenden so oft bezogen, dass wir die hervorragende Bedeutung dieses Werkes nicht mehr besonders auszusprechen brauchen. Rütimeyer sagt, dass durch dieses Werk die Gletscherfrage in eine neue Phase eingetreten sei, eine Bemerkung, die sich auf die ganze umfangreiche climatische Frage wird ausdehnen lassen.

Es ist deshalb sicher von beträchtlichem sachlichem Interesse, eine übersichtliche Vergleichung mit der Sartorius'schen Theorie anzustellen.

Unsere Auffassung stimmt mit der von Sartorius vertretenen darin überein, dass:

1. Den Oscillationen der Erdrinde und daraus hervorgehenden Reliefveränderungen der Erdoberfläche nicht blos ein bedeutender Einfluss auf die climatischen Abänderungen eingeräumt wird, sondern dieselben als die hauptsächlichste Ursache aufgefasst werden. Alle anderen Factoren sind, wenigstens in den jüngeren Erdperioden, nur beitragend und begleitend, aber nicht Ausschlag gebend, die geographische Breite ausgenommen.

2. Dass die Kälte-Erscheinungen einen wesentlich localen Ursprung und Character haben, weil sie von der Erhebung der Gebirge abhängig sind; eine gewisse Universalität kommt ihnen nur aus dem Grunde zu, weil die bewirkenden Ursachen an vielen und verschiedenen Punkten der Erde ungefähr gleichzeitig eintreten.

Sartorius bringt nun die Kälte oder Wärme des Climas (der neueren Perioden) in der Weise in ein directes und ausschliessliches Verhältniss mit der Hebung oder Senkung der Gebirge, dass jede Abnahme der Temperatur ihm eine Steigung der Gebirge und jede Hebung der Temperatur ihm eine Senkung der Gebirge direct anzeigt. Deshalb legt er für das warme Clima

a) der Tertiärzeit das reine Seeclima ohne Erhebungen zu Grunde;

b) für das sehr rauhe Clima der Quartärzeit verlangt er eine ausgedehnte Erhebung der Gebirge, die um mehrere tausend Fuss, je nach der geographischen Breite, die gegenwärtige Erhebung derselben überragte;

c) für das heutige gemässigte Clima aber wieder ein Niedersinken der Gebirge, soweit, dass dem heutigen Clima entsprochen wird.

Durch diese Auffassung gewinnt die Darstellung von Sartorius allerdings eine überraschende Bestimmtheit des Ausdrucks; einer Temperatur, die um x Grade höher oder niedriger ist, entspricht zugehörigen Orts nach der geographischen Breite eine Senkung oder Hebung der Gebirge um y Fusse, und umgekehrt. Die anderweitigen Factoren, die Sartorius bei den älteren Formationen in Rechnung bringt, kommen bei den jüngeren und

jüngsten nicht mehr in Betracht (cf. l. c. p. 111), mit Ausnahme der geographischen Breite.

Allein nachweisbar ist doch nur die Erhebung der Gebirge gegen Ende der Tertiärzeit, an einigen Orten etwas früher, an andern etwas später; ein allgemeines Zurücksinken der Gebirge seither ist nicht nachzuweisen.* Als unmöglich oder den Naturgesetzen widersprechend kann das zu Hilfe genommene allgemeine Zurücksinken der Gebirge nicht bezeichnet werden, aber es wird durch diese Annahme dem Standpunkte von Sartorius immerhin ein hypothetisches Gepräge aufgedrückt. — Seinem Princip getreu sucht und findet Sartorius die höhere Wärme des Tertiärclimas nur in der geringen Erhebung des damaligen Landes. Er geht sogar so weit, dass er das reine Seeclima ohne Erhebung zu Grunde legt, ungeachtet es anerkannt ist, dass zur Tertiärzeit jedenfalls viel Land schon vorhanden war. Aber seine Theorie vermag dessungeachtet dem Clima der Tertiärzeit, wie dasselbe durch umfassende gründliche Beobachtungen (Heer's) festgestellt ist, nicht gerecht zu werden, wie wir gleich anfangs hervorgehoben haben. Das ist ein positives Gebrechen dieser Theorie.

Wenn man, wie Sartorius thut, das heutige Clima als normales zu Grund legt und zugleich die Oscillationen des Gebirgs als die alleinige, wenigstens allein in Betracht kommende Ursache der Abänderung des Climas aufstellt (die geographische Breite immer vorausgesetzt), so vermag man zwar das Quartärclima zu erklären, aber nur, wenn man sich entschliesst, den Gebirgen der Erde in jener Zeit eine durchschnittlich viel grössere Höhe, je nach der geographischen Breite, zuzulegen als sie heute haben; — das Tertiärclima aber entzieht sich der Erklärung. Man kann die feste Erdrinde, die Landpflanzen und Thiere ernährt, nicht weiter zurück sinken lassen, als bis auf das Niveau des Meeres selbst, aber selbst diese angenommene niedrige Lage des Landes reicht nicht zu, um die thatsächlichen Wärmeverhältnisse

* Cf. Heer, Polarflora I. S. 75 und Agassiz, Untersuchungen S. 281.

auch nur der späteren (obermiocenen) Tertiärzeit annehmbar zu erklären. Und doch hat zur miocenen und pliocenen Zeit in Grönland und anderwärts ein so beträchtlicher absoluter Zuwachs des Schichtenmaterials stattgefunden, dass beträchtliche Erhebungen des Landes über das Niveau des Meeres unausbleiblich waren, ganz abgesehen von den zahlreichen anderweitigen Gebirgs-Erhebungen jener Zeit.

Unsere vorgetragene Auffassung unterscheidet sich nun von der Sartorius'schen Theorie darin dass:

1. nicht das gegenwärtige Clima der Erde als Norm für die vorangegangenen Perioden zu Grund gelegt wird. Wir haben uns bemüht, zu zeigen, dass das Clima der Gegenwart zu sehr unter den Nachwirkungen des exceptionellen quartären Climas leidet, als dass es als richtige Grundlage für die Climate der Erde überhaupt gelten könnte.

2. Haben wir die climatischen Erscheinungen nicht in eine so directe Abhängigkeit von den Oscillationen der Erdrinde gebracht, dass jede Änderung der Temperatur nur durch eine entsprechende Oscillation hervorgerufen würde. Wir haben auf die Schneelinie hingewiesen. Sobald durch Erhebung der Gebirge diese Linie erreicht war und überschritten, so war damit der Grund gelegt zu climatischen Revolutionen (Anhäufung, Dislocirung etc.), welche sich von sich aus einleiten und abwickeln mussten, selbst wenn die Gebirge fortan vollständig in gleichbleibender Höhe verharrten. Durch wiederholte locale Oscillationen der Gebirge, deren Möglichkeit und Wirklichkeit selbstverständlich nicht ausgeschlossen ist, konnten nur Störungen in der normalen Abwicklung des Prozesses eintreten, die in der That auch local beobachtet wurden. Hiemit kommen für uns gewisse Postulationen in Wegfall, welche der Theorie von Sartorius unentbehrlich sind.

3. Um den Wärmeüberschuss des Tertiärcimas zu motiviren, haben wir auf physicalische Gesetze und Verhältnisse hingewiesen.

Trotz dieser nicht unbeträchtlichen Abweichungen von Sartorius, muss es doch jedem Bearbeiter der dornenvollen climatischen Frage zu grosser Beruhigung dienen, sich mit diesem

scharfsinnigen, mit mathematischen Kenntnissen reich ausgestatteten Gelehrten in ganz wesentlichen Punkten im Einklang zu wissen und den Punkt angeben zu können, bei welchem das Auseinandergehen der Ansichten und Ausführungen erfolgt. Wir heben zu diesem Behuf einen Passus aus dem „Rückblick“ des Sartorius'schen Werkes hervor (S. 381):

„Die Erde, um noch einmal auf den Gang unserer Untersuchungen zurückzublicken, wird gegenwärtig an ihrer Oberfläche durch ihr Inneres nur noch unmerklich erwärmt, empfängt aber dagegen von der Sonne ein genau zugemessenes, durchaus unveränderliches Wärmequantum, welches innerhalb bestimmter Gränzen, je nach der Configuration der Läder und Meere ungleichmässig über die Erdoberfläche vertheilt, die verschiedenen Climate unter den verschiedenen geographischen Breiten ausprägt. Es entsteht so zunächst das Seeclima, welches vorwiegend den Character der vorweltlichen Climate an sich trägt, und das Continentalclima, bei dessen Beurtheilung die beständig sich ändernde Reliefform der Erdoberfläche in Betracht kommt. Bei der Abnahme der Temperatur in den höheren Gegenden der Atmosphäre rücken gewisse, wenn auch nur verhältnissmässig kleine Theile der Erdoberfläche in kältere Luftschichten und gelangen so aus einem milderer, mitunter in ein strengeres Clima, in welchem Schnee und Eis die Stelle des fallenden Regens und der sich sammelnden Wasser vertreten. Denselben climatischen Erscheinungen, welche wir an den Polen der Erde und in der Nähe der Polar Kreise im Meeresniveau finden, begegnen wir in ganz ähnlicher Weise auf hochgelegenem Terrain in gemässigten Zonen. Felder von ewigem Schnee werden allmälig in Firn und Gletschereis verwandelt, die dann unter dem Einflusse der Schwere in tiefer gelegene Thäler vordringen, wo ihnen die dort herrschende Temperatur eine natürliche Gränze entgegenstellt.“

Dieser schlichten Darstellung des Kernes seiner Auffassung geben wir unsere Zustimmung mit der einzigen Abänderung, dass wir Eis und Schnee nicht sofort als Gletscher abfließen lassen, sondern verlangen, dass sie sich vorerst ansammeln und erst nachdem sie sich entsprechend angesam-

melt haben, zur Dislocation gelangen und dann theilweise abschmelzen.

Diese Forderung widerspricht keinem Naturgesetz, ist vielmehr selbstverständlich, aber immerhin von so grossem Belang, dass von ihr der gesamte Gang unserer weiteren Entwicklung in der Hauptsache abhängt.

Rückblick.

Blicken wir auf die vorgeführten Entwicklungen zurück, so ergeben sich uns einige Resultate, welche geeignet sein dürften, die Frage der climatischen Entwicklung unseres Planeten in seinen drei letzten Perioden aufzuhellen.

Vor Allem weisen wir auf unser Bestreben hin, für sämmtliche drei, unter sich so sehr contrastirenden Perioden, einen gemeinsamen Gesichtspunkt zu gewinnen, und dieselben in gegenseitigen Zusammenhang zu bringen. Mehr im Einzelnen ist zu bemerken:

1. Der Contrast zwischen dem anfänglichen Clima der Tertiärzeit und der Quartärzeit gewinnt dadurch eine Motivirung, dass wir das Eintreten eines gewaltigen Wärme absorbirenden Factors vorgeführt und die Folgen davon entwickelt haben (Abschnitt I—III). Letztere äussern sich schon in einer allmälig eintretenden und fortschreitenden Abkühlung der Temperatur von der mittleren Tertiärzeit an, wofür wir die paläontologischen Thatsachen angeführt haben (Abschnitt IV). Die Anhäufung der exterritorial gewordenen Schneemassen über der Schneelinie, die später erfolgende Entladung derselben, die hiedurch hervorgerufene Steigerung der Rauhigkeit des Climas scheinen uns ganz im Einklang mit den physicalischen Gesetzen zu stehen.

2. Der wechselvolle Uebergang des quartären Climas zum Clima der Gegenwart, bietet nach den Gesichtspunkten, die wir aufgestellt haben, keine Schwierigkeit dar (Abschnitt V). Nach

der Dislocirung der Schneemassen gewann die Sonnenwärme so viele Angriffspunkte, dass die extremsten climatischen Erscheinungen allmählig, nicht ohne manche, aber doch nur locale, Schwankungen, überwunden wurden und die Gletscher weit zurückweichen mussten. Die Wege zur Abfuhr des Schnees in niedrige Lagen und damit zur fortlaufenden Abschmelzung waren gebahnt und hiedurch ein Ruhestand des Climas hergestellt, so lange die gegenwärtigen orographischen Verhältnisse der Erde nicht in grossem Massstabe verändert werden. Die Vulcane, welche Humboldt als Sicherheitsventile für den gegenwärtigen Zustand der festen Erdrinde auffasst, mögen bewirken, dass dieser Zustand von langer Dauer sein kann. Aber die in die tellurische und physicalische Weltordnung eingetretene Macht des Schnees konnte nicht mehr vollständig eliminiert werden; seine Heimstätte, die Gebirge, und damit ein beträchtlicher Rest seiner Herrschaft bestehen heutzutage noch fort und unser gegenwärtiges Clima ist desshalb kein richtiger Massstab für die Climate der älteren Erdperioden (Abschnitt VI).

3. Eben von diesem Gesichtspunkte aus beleuchten sich rückwärts die climatischen Verhältnisse der Tertiärzeit (Abschn. VII), ohne dass für sie eine spezifische Wärmequelle aufgesucht werden müsste. Weil ein grosser Theil der Sonnenwärme bei dem heutigen Zustand der Erdoberfläche dazu verwandt wird, um die Umsetzung des Aggregatzustandes des Eises in Wasser zu ermöglichen, so ist die effective Sonnenwärme in der Tertiärzeit eine höhere gewesen als in der Gegenwart.

4. Die Aenderung des Climas während der letzten Erdperioden (Tertiär und Quartär) stellt sich uns dar als wesentlich mit der Entwicklung unseres Planeten verknüpft. Die Erhebung sehr hoher Gebirge über die verschiedensten Theile der Erde hin in der jüngeren Erdperiode ist die Folge der zunehmenden Mächtigkeit der festen Erdrinde, ihrer hiedurch gesteigerten Kraft des Widerstandes gegen die Reaction des feuerflüssigen Erdinnern. Die Aenderung des Climas tritt somit in Causalgrenzen nicht blos mit der Erhebung der Gebirge, sondern durch sie mit dem Process der Verdichtung des Planeten. Wie in früheren

Perioden der Erde das folgenreiche Auftreten des Wassers in tropfbar flüssiger Form mit der Entwicklung und Erstarrung der Oberfläche des Planeten zusammenhangt, so auch das jüngste Auftreten desselben in Form von Eis und Schnee. Die Veränderung des Climas zur tertiären und quartären Zeit ist zugleich der Ausdruck eines Stadiums der Reife und des zunehmenden Alters in der Entwicklung des Erdkörpers.

Inhaltsverzeichniss.

I. Einleitung: Stand der climatischen Frage; Sartorius; Heer. Feststellung der Aufgabe und des Gangs der Untersuchung.

I. Abschnitt: Vorbereitungsstadium der Veränderung des Climas; die Erhebung der Gebirge Grönlands; Bedeutung der Schneeluvie; Nothwendigkeit der Ansammlung der Schneemassen. Gebirgs-Erhebungen in andern Ländern der Erde.

II. Abschnitt: Dislocation der Schneemassen; Bedingungen der Dislocation; Ausbildung eines Systems von Abfuhrwegen in den Gebirgen. Modalitäten der Verbreitung der Gletscher ausserhalb der Gränzen der Gebirge. Nachweis der Möglichkeit der Verbreitung der Gletscher in sehr entfernte Gegenden.

III. Abschnitt: Folgen der Dislocation der Schneemassen; Verallgemeinerung der Gletscher-Erscheinungen durch die Fernwirkung der Gletscher hervorgerufen. Würdigung einiger mitwirkenden Ursachen zur Verschlimmerung des Climas, vermehrte Niederschläge und Meeresströmungen.

IV. Abschnitt: Paläontologische Beobachtungen in England und in der sarmatischen Stufe; climatische Zustände vor der Miocenzeit.

V. Abschnitt: Stadium der Abschmelzung; Nothwendigkeit derselben; der wechselvolle Character der Quartärzeit.

VI. Abschnitt: Nachwirkungen des Quartärclimas nicht vollständig überwunden; Erfordernisse hiezu.

VII. Abschnitt: Das Tertiärclima; die Sonnenwärme eine relative Grösse. Physicalische Erörterung über Wärmeabsorption

durch das Schmelzen des Schnees. Wärmeüberschuss des Tertiärclimas gegenüber dem heutigen; bedarf keiner spezifischen Wärmequelle.

VIII. Abschnitt: Beleuchtung der neueren Theorien; Standpunkt der herrschenden Theorie; die astronomische und physikalische Begründung derselben; das Fehlerhafte des Analogieschlusses vom Clima der Südhälfte der Erde auf das Clima der Quartärzeit; Theorie von Tyndall und Sartorius.

Rückblick.
