

Natürliche Warmwasserheizung

als

Princip der climatischen Zustände der geologischen Formationen.

Von

Dr. **J. Probst.**

Vorwort.

Seit mehr als drei Decennien hat sich der Verfasser bemüht, die von ihm bewohnte Gegend (das Württembergische Oberschwaben) geologisch und paläontologisch genauer zu untersuchen. Seine Bemühungen galten zunächst der dortigen Molasseformation. Die gleichfalls vorhandene und weit verbreitete quartäre Formation empfand ich zunächst nur nach ihrer lästigen, hemmenden Seite, sofern dieselbe durch ihre mächtigen Kies- und Lehmlager die tertiäre Unterlage verdeckt und mehr durch Armuth an Petrefacten sich auszeichnet, als durch Reichthum.

Bald aber machte ich auch genauere Bekanntschaft mit den erratischen Blöcken und gekritzten Steinen, die ganz geeignet sind, über den climatischen Charakter dieser Formation handgreiflichen Aufschluss zu geben und suchte dieselbe in ihrer Ausdehnung über die Gegend hin zu verfolgen.

Ueberall der gleiche gewaltige Contrast zwischen der Tertiärzeit und der Quartärzeit! Dort Zimmt- und Kampherbäume, oder an andern Orten Fischgeschlechter, die zunächst an die des Mittelmeers und rothen Meers sich anschliessen, und wenige Meter darüber — die Blöcke eines Gletschers, der aus den Alpen sich herauswälzte und über die ganze Gegend in gewaltigen Massen hinlagerte, in dessen Nähe das Alpenmurmeltier und der Halsbandlemming mit Renthier und andern nordischen Thieren sich wohl fühlten.

Dass sich mir unter solcher Beschäftigung die Frage nach den Ursachen der Eiszeit, nach der Wandlung der climatischen Verhältnisse überhaupt, dringend nahe legen musste, bedarf keiner näheren Erklärung.

Eine Hauptfrage drängte sich zunächst auf: was ist die Ursache des massenhaften Andrangs des Eises in solchen Gegenden, die sich unmittelbar zuvor eines so warmen Climas erfreuten und auch jetzt wieder ein gemässigtcs Clima haben?

Mir legte sich der Gedanke nahe, dass da die Gletscher der Eiszeit, wie die Recenten, sich an das Hochgebirg anlehnen und dort ihre Reservoirc haben, eine lange Ansammlung des Schnees in den Gebirgen mit nachheriger Entladung desselben in die Niederung und Abschmelzung daselbst das ausserordentliche Phänomen der »Eiszeit« am ungezwungensten erklären könne.

Aber gerade diesen Gesichtspunct, so nahe er sich mir legte, fand ich in der Literatur nicht vertreten; die diesbezüglichen Hypothesen ergingen sich meist in sehr entfernt liegenden Gebieten.

Sartorius von Waltershausen nimmt zwar die Gebirge zum Ausgangspunct der grossartigen Gletscher der Eiszeit, allein sein Princip ist doch ein anderes, nicht eine Ansammlung der Eismassen in dem noch unzerstückelten Gebirge, sondern er postulirt eine viel gewaltigere Höhe der Gebirge in der Quartärzeit, um die grossen Gletscher hervorzubringen und ein nachheriges Niedersinken derselben, um die Gletscher auf das heutige Maass zurückgehen zu lassen.

Der Verfasser sprach seinen eigenen Gedankengang in den Hauptzügen zuerst aus in den Württ. naturwissenschaftlichen Jahresheften 1874 S. 81 und suchte denselben näher zu begründen daselbst in einer Abhandlung des Jahrgangs 1875 S. 85—149.

Die Eiszeit selbst ist aber nur ein vereinzeltcs Räthsel; das Clima der alten Perioden mit ihrer auffallenden Wärme und Gleichförmigkeit unter allen Breitegraden, dann das stufenweise Auftreten der climatischen Zonen, das durch Prof. Dr. Heer in Zürich auf Grund seiner Untersuchungen der arctischen fossilen Pflanzen festgestellt wurde; — das ist eine Reihe von Räthseln und ungelösten Fragen, die im Zusammenhang betrachtet werden müssen.

Mehrere Ansichten hatten in den letzten Jahrzehnten die Oberhand gewonnen und wurden wieder verlassen und verdrängt. Anfänglich beruhigte man sich in Betreff des Climas der alten Periode bei dem Einflusse der inneren Erdwärme. Es wird unbestreitbar das Verdienst von Sartorius sein, dass diese zwar bequeme aber unhaltbare Annahme verlassen wurde, da er nachwies, dass die Gesetze der Wärmetheorie einen derartigen Einfluss selbst für die ältesten Perioden nicht gestatten und jedenfalls den Effect auf ein sehr bescheidenes Maass reduciren, für die mittleren und neueren Formationen aber kaum mehr in Betracht kommen können.

Sodann gewann die Lyell'sche Auffassung von dem Einflusse der Vertheilung des Festen und Flüssigen auf der Erdoberfläche die Oberhand. Allein die Untersuchungen von

Sartorius über das reine Seeclima der Gegenwart zeigten deutlich genug, dass selbst bei möglichst vollständiger Eliminirung, nicht blos anderer Vertheilung, des festen Landes, die Temperatur nicht einmal der Tertiärperiode, viel weniger der alten Periode zu erreichen sei. Es ist in dem reinen Seeclima wohl eine ganz charakteristische Annäherung an den Typus der früheren Formationen zu erkennen; allein die Temperaturen selbst, die für das Seeclima berechnet zu haben das Verdienst von Sartorius ist, stehen in ihrer ganzen Scala beträchtlich zu weit ab von dem Clima der Tertiärzeit und noch mehr der alten Formationen.

Das wichtige Werk von Sartorius (Untersuchungen über die Climate der Gegenwart und Vergangenheit 1865) scheint einen ausgedehnten Einfluss hauptsächlich nur insofern erlangt zu haben, dass die früheren irrigen Vorstellungen verlassen werden mussten. Der Grund liegt wohl darin, dass auch seine Resultate mit den Forderungen der Paläontologen, wie sie in den letzten Jahrzehnten erst gewonnen wurden, doch zu wenig harmoniren. Sartorius, dessen Werk schon um seiner strengen, rechnenden Methode willen die grösste Beachtung verdient, nimmt als Grundlage und Ausgangspunct für das Clima der geologischen Formationen, das reine Seeclima der Gegenwart, das er für die früheren Perioden zu verstärken sucht. Das ist im Grund, wenn auch Sartorius selbst diesen Ausdruck nicht gebraucht, nichts Anderes, als das Princip der natürlichen Warmwasserheizung. Unter diesem Gesichtspunct fasst wenigstens der Verfasser die Arbeit vor Sartorius auf. Wenn es nun auch Sartorius nicht gelang, befriedigende Ziffern, die den Anforderungen der Paläontologie entsprechen, zu gewinnen und damit in hohem Grade der Erfolg seines Unternehmens gefährdet wurde, so schien mir doch gerade in diesem Princip ein so gesunder Kern vorhanden zu sein, dass ich mich bemühte diesen Grundgedanken festzuhalten und auszubilden und geeignete Wege einzuschlagen, um die Wirkungen der natürlichen Warmwasserheizung für die alten Formationen in einer solchen Weise zu verstärken, dass sie den Anforderungen der Paläontologen genügten.

In einer Abhandlung der Württ. naturwiss. Jahreshfte (1881 Seite 47—113) wurde die weitere Entwicklung dieses Princips von dem Verfasser gegeben und solche Temperaturscalen gewonnen, dass auch der Paläontologie Genüge geleistet wird.

Verschiedene Fragen blieben aber noch unerledigt und wurden vorläufig verschoben, besonders solche, welche die Wechselbeziehungen zwischen climatischen und tellurischen Erscheinungen und Zuständen betreffen.

In dieser vorliegenden Schrift wird nun nicht blos der Inhalt der früheren Abhandlungen, besonders jener vom Jahr 1881 zu Grund gelegt, obwohl vielfach ergänzt, verbessert und umgearbeitet, sondern auch noch eine II. Abtheilung hinzugefügt, welche die hauptsächlichsten

Modificationen der climatischen Zustände auf der südlichen Hemisphäre beleuchtet; sodann die Erscheinungen der Hebung und Senkung und die Zeit der Erhebung der Continente und hohen Gebirge bespricht und mit dem climatischen Princip in Verbindung bringt.

Das Gebiet der Kritik konnte hierbei nicht gänzlich umgangen werden und musste namentlich bei dem Capitel von dem Clima der südlichen Halbkugel der Adhemar'sche Standpunct eingehender berücksichtigt werden.

Die Ziffern über Temperaturangaben wurden aus den bewährtesten Quellen entnommen, nämlich aus Dove, Krümmel, Hann und Sartorius für die recente Periode; von Heer und Graf Saporta für die vergangenen geologischen Perioden.

Wenn der Verfasser sich bestrebt hat, überall, soweit möglich, einen bestimmten und numerischen Ausdruck zu gewinnen und in Anwendung zu bringen, so wird ihm das nicht als übermässige Kühnheit zum Vorwurf gereichen. Vage Behauptungen und Vorstellungen sind überall, so auch auf diesem Gebiete weit verbreitet, aber nirgends wird durch sie ein Ziel erreicht oder auch nur ein schwacher Fortschritt errungen. Es giebt kein anderes Mittel, um von dem Irrthum sich loszumachen und der Wahrheit, wenn auch nur um einen Schritt, näher zu kommen, als das Streben nach möglichster Bestimmtheit sowohl des Gedankens als des Ausdruckes und ebendeshalb der Controle durch jene numerischen Werthe, welche durch die Erfahrung und Beobachtung gewonnen worden sind.

Essendorf, im Herbst 1883.

Der Verfasser.

I. Abtheilung.

Erklärung der climatischen Zustände der geologischen Formationen.

Einleitung.

Ueber den Stand der Frage.

Die Paläontologen stellen auf Grund der Beschaffenheit der Organismen, die in den verschiedenen Schichten vorgefunden werden, ziemlich bestimmte Anforderungen, denen genügt werden muss, wenn die climatischen Verhältnisse der abgelaufenen geologischen Perioden erklärt werden wollen. Wir fassen hauptsächlich die Anforderungen ins Auge, wie sie von Professor Heer ¹⁾ und Graf S a p o r t a ²⁾ in guter Uebereinstimmung unter einander gestellt werden.

Die silurische und devonische Formation lassen aus ihren Organismen auf ein unter allen Breitegraden sehr warmes und überraschend gleichförmiges Klima schliessen. In neuester Zeit wurde die silurische Formation im Grinellland (79°—82° n. B.) entdeckt und lieferte dort ca. 60 Arten von Thieren, welche mit der gleichzeitigen Fauna auf den britischen Inseln und noch mehr mit Arten von Nordamerika übereinstimmen. (Heer: Flora fossilis arctica, Band V, S. 17.) Sodann zu Anfang der Steinkohlenzeit war die Bäreninsel (74° 30' n. B.) und Spitzbergen (78°) mit einer Vegetation bekleidet, welche fast in allen Arten mit derjenigen übereinstimmt, die damals im südlichen Irland, Deutschland, und in den Vogesen zu Hause war, so dass kaum ein Zweifel besteht, dass vom 45.° bis 78.° der nördlichen Breite dasselbe Klima herrschte. (Heer III, S. 28.)

Der unmittelbar darauf folgenden Bergkalk schliesst zwar keine Pflanzen ein, aber zahlreiche Meeresthiere. Es sind grossentheils dieselben Arten, die aus dem europäischen Bergkalk bekannt sind; ja einige lassen sich bis in die Tropengegenden verfolgen. (Heer III,

¹⁾ Flora fossilis arctica, Band III, S. 28. 1874.

²⁾ Le monde des plantes avant l'apparition de l'homme 1879.

S. 28.) Im Grinelllande wurde diese Formation unter $79^{\circ} 34'$ bis $82^{\circ} 40'$ entdeckt; die eingeschlossenen Organismen kommen mit denen Englands grossentheils überein, selbst die Corallen fehlen nicht. (Heer I. c., Band V, S. 17, 19.)

Die Pflanzen der mittleren Steinkohlenformation in Spitzbergen ($77\frac{1}{2}^{\circ}$ n. B.) stimmen gleichfalls zum grossen Theil mit denen überein, welche in Mitteleuropa (Böhmen etc.) aus den gleichen Schichten bekannt sind. (Heer III, S. 28.)

Graf Saporta schätzt die mittlere Temperatur der Steinkohlenzeit auf nicht unter 25° C. und nicht über 30° C. Heer in der 2. Auflage seiner Urwelt (S. 659) nimmt für die Schweiz 23° bis 25° C. in Anspruch.

Die Trias hat bis jetzt in der arctischen Zone keine Pflanzen geliefert, wohl aber Thierreste (Spitzbergen $78\frac{1}{2}^{\circ}$); sie stimmen mit denen der Schweiz etc. aus gleichaltrigen Schichten überein. (Heer III, S. 28.)

Die Juraformation birgt am Cap Boheman im Eisfjord ($78^{\circ} 24'$ n. B.) Farne, Coniferen, Cycadeen, die theilweise mit denen des englischen, russischen und südfranzösischen Jura übereinstimmen. Eine Vergleichung mit den Jurapflanzen Indiens ergiebt, dass hier wie dort die Farne 40% der bis jetzt gefundenen Pflanzenarten bilden, wogegen die Nadelhölzer in Spitzbergen stärker, die Cycadeen aber schwächer vertreten sind. (Heer III, S. 29.)

In der unteren Kreide trägt die Flora Grönlands den Charakter der tropischen und subtropischen Gegenden. (Heer III, S. 29.)

Von Beginn der silurischen Formation bis zum Schlusse der unteren Kreide treten uns somit in der arctischen Zone theils in der Landflora, theils in der Meeresbevölkerung tropische und subtropische Typen entgegen und erst in der obersten Stufe der oberen Kreideformation finden sich deutliche Spuren der abnehmenden Temperatur bei 70° n. B. und damit auch eine Auscheidung der Climate nach der Breite. (Heer VII, S. 222.)

Das Eocän kommt weniger in Betracht, da in den höchsten Breiten diese Formation noch nicht nachgewiesen ist.

Die miocäne Flora dagegen, die aus allen Breiten bekannt ist, zeigt, dass die arctische Zone eine viel höhere Temperatur fordert, als jetzt in derselben herrscht. Aber gegenüber der Kreidezeit ist für Spitzbergen und Grönland unverkennbar eine Abnahme der Temperatur vorhanden. Auch tritt die zonenweise Abstufung des Climas jetzt bestimmt hervor. Nur unter dem Aequator selbst (Sumatra, Java, Borneo) zeigen die tertiären Pflanzen

nach der übereinstimmenden Auffassung von Heer¹⁾, Göppert und Geyler keinen Unterschied gegenüber den heutzutage dort vorhandenen climatischen Zuständen.

In dem kürzlich (1883) erschienenen VII. Band der *Flora fossilis arctica* kommt Heer nochmals auf die climatischen Zustände der verschiedenen Formationen zurück; um der Wichtigkeit des Gegenstandes willen wird dieser Passus auszubeben sein (l. c. S. 226): »Im Unter-carbon bestand auf der Bäreninsel ($74^{\circ} 30'$ n. B.) und im Hintergrund des Eisfjords bei 78° n. B. eine Flora, die mit der Unter-carbonflora von Europa in den wichtigsten Arten übereinstimmt und der darauf folgende Bergkalk schliesst in der arctischen Zone dieselben Thierreste ein, wie in Europa; ja einzelne Arten finden sich sogar im Bergkalk der Tropenländer. Der Bergkalk Australiens hat etwa ein Drittel der Arten mit Europa gemeinsam. Zur Zeit der Trias hatten wir in Spitzbergen bei $78\frac{1}{2}^{\circ}$ n. B. riesenhafte Saurier und Meeresmuscheln ähnlich derjenigen, die damals in Europa lebten. Aus dem braunen Jura kennen wir vom Cap Boheman in Spitzbergen ($78^{\circ} 24'$ n. B.) eine Flora, die durch ihre Cycadeen und Coniferen an die gleichzeitige von England sich anschliesst, aber auch mit derjenigen Nordsibiriens von $70\frac{2}{3}^{\circ}$ und 71° n. B. übereinkommt. Auch die Juraflora Südsibiriens und des Amurlandes hat denselben climatischen Charakter und dasselbe gilt auch von der Flora der Rajmahalhügel Indiens. Vom tropischen Asien bis an das Eismeer und nach Spitzbergen sind es die Cycadeen, die Farren und Nadelhölzer, welche die Pflanzendecke bilden und im Meere lebten in Spitzbergen und bei der Prinz-Patrik-Insel ($76\frac{1}{3}^{\circ}$ n. B.) Ammoniten, wie in den tropischen Gewässern. In der unteren Kreide Grönlands haben wir bei 71° n. B. eine Flora, welche auf ein nasses heisses Klima und eine mittlere Jahrestemperatur von 21° bis 22° C. schliessen lässt. In der oberen Kreide Grönlands ist in der unteren Abtheilung noch keine Abnahme der Temperatur nachweisbar; diese giebt sich erst in der obersten Kreide, die den Uebergang zum Tertiär bildet, durch das Verschwinden der Cycadeen kund. Im Unter-miocän ist diese Abnahme der Temperatur deutlich ausgesprochen und für Grönland haben wir bei 70° n. B. die mittlere Jahrestemperatur zu 12° C. zu bestimmen.«

Die gesammten Erfahrungen Heer's bis zum Jahre 1883, nachdem eine gewaltige Masse von Material aus den hohen und höchsten Breiten von ihm untersucht worden war, dienten somit dazu, die ersten Eindrücke, welche aus dem Studium der fossilen nordischen Pflanzen gewonnen worden waren, in der Hauptsache ganz zu bestätigen. Nur war Heer mehr und

¹⁾ Durch eine neue Sendung von Pflanzen aus dem Tertiär von Sumatra fand Heer die früher schon gewonnene Ueberzeugung darüber bestätigt. cf. *Urwelt* etc., 2. Aufl., S. 511, 512.

mehr in die Lage versetzt, den Temperaturen von Grönland, Spitzbergen, Grinellland zur miocänen Zeit einige Grade Wärme mehr zuzulegen, als er anfänglich glaubte bemessen zu müssen und die Anfänge der Ausscheidung der climatischen Zonen von dem Cenoman noch um eine Spanne Zeit weiter zurück, ganz an das Ende der Kreideperiode zu verlegen.

Schon diese Reihenfolge der climatischen Zustände der geologischen Perioden giebt Räthsel genug auf. Doch sieht man, dass bis hieher eine ruhige langsame Entwicklung stattgefunden haben könne.

Eine befremdende Abänderung aber, welche mit der vorhergehenden und zugleich mit der nachfolgenden (recenten) Periode contrastirt, tritt erst mit der quartären Zeit ein, welche schon in ihrem Namen Eiszeit ihren stark abgeänderten climatischen Charakter kundgiebt.

Nur Graf Saporta sucht (l. c. S. 121) derselben eine gelindere Seite abzugewinnen, welche auch von Heer und anderen Paläontologen nicht ganz misskannt, aber als interglaciale Zwischenperiode gedeutet wird.

Aus all' diesen mannigfaltigen Entwicklungen ging endlich als letztes Glied das heutige gemässigte Klima hervor; gemässigt insofern, als die mittleren Breiten eine nach unseren Anschauungen gemässigte Temperatur besitzen, während die hohen und niedrigen Breiten durch zuvor kaum gekannte starke Unterschiede der Temperatur von einander abstehen.

Fasst man die Anforderungen, die an eine genügende Hypothese gemacht werden können und müssen, zusammen, so wäre zu erklären, beziehungsweise zu begründen:

1) Das in hohem Grade gleichförmige und besonders in den hohen Breiten zugleich warme Klima der ältesten und mittleren Perioden. Eine absolute Gleichförmigkeit ist hiermit jedoch nicht verlangt und eine Differenz von einigen Graden nicht ausgeschlossen, wenn sie nur die Grenzen nicht überschreitet, die auch heutzutage noch in jedem Floren- und Faunengebiet vorkommen.

2) Die schon seit der obersten Kreideformation, deutlicher aber seit der Tertiärformation hervortretende zonenweise Anordnung der Climate mit allmählich abnehmender Wärme der mittleren und noch mehr der höheren Breiten.

3) Die climatisch auffallende Umgestaltung zur sogenannten Eiszeit.

4) Die mildere, aber von den vorhergehenden Perioden mehr oder weniger verschiedene climatische Beschaffenheit der recenten Periode.

Ob nun zur Erklärung dieser Zustände kosmische oder solare oder tellurische Verhältnisse beigezogen werden wollen, ist zunächst freigestellt, wenn nur die zur Erklärung herbeigezogene Grundlage selbst solid ist und sich an die dermaligen Kenntnisse befriedigend an-

schliesst. Es ist aber nicht zu verwundern, dass eine grosse Zahl von Hypothesen aufgetaucht ist, um diese verwickelten Zustände zu erklären. Dieselben zu besprechen wird jedoch nicht nothwendig sein; denn die Kritik, die hier allerdings ein dankbares Feld findet, hat ihre Schuldigkeit zur Genüge gethan. Ueberdies können wir auf die Besprechungen verweisen, die von zwei hervorragenden Männern in neuester Zeit gegeben wurden. Heer widmet dem Gegenstand ein Capitel in der zweiten Auflage seiner *Urwelt der Schweiz* (S. 657) und desgleichen Graf Saporta in seiner schon angeführten Schrift (S. 139).

Doch auf zwei Hypothesen müssen wir immerhin eingehen, da dieselben erst in neuester Zeit veröffentlicht wurden, von ganz neuen Standpunkten ausgehen und noch sehr wenig besprochen worden sind.

Die eine derselben von Dr. Blandet kennen wir nur aus der Relation bei Graf Saporta (l. c. S. 148). Hienach geht Blandet davon aus, dass die Eigenthümlichkeiten des Klimas der alten Erdperioden in dem früheren Zustande der Sonne zu suchen seien. An die Theorie von Kant und Laplace anschliessend, weist er auf jene Zeiten hin, in welchen der Planet Mercur sich noch nicht von der Sonne losgelöst hatte, der Durchmesser der Sonne somit sich noch soweit ausdehnte, als heutzutage die Mercurbahn von der Sonne absteht. Er hält es für möglich, dass eine solche Sonne, deren scheinbarer Durchmesser sich auf 40 Grade belaufen hätte, während der ältesten Periode noch am Himmel gestanden habe. Hiedurch wären die Dämmerungs-Erscheinungen so lichtvoll und so verlängert geworden, dass die Nacht streng genommen aufgehört hätte. Die Wärmekraft dieser so beschaffenen Sonne, wie ihre Leuchtkraft wäre minder grell aber gleichförmiger für die ganze Erde gewesen; ihre senkrechten aber milden Strahlen hätten noch bis in unsere Breiten gereicht.

Graf Saporta bemerkt hierzu, dass diese Hypothese zwar keineswegs bewiesen sei, aber sie schmiege sich an die Erscheinungen der *Urwelt* geschickt an, sie lasse die climatischen Zustände derselben gut begreifen, ihre halbverschleierten Tage und transparenten Nächte, die milde Temperatur der Polargegenden, die ursprüngliche Ausdehnung und allmähliche Einschränkung der tropischen Zone und so fort.

Allein, so schwer wiegend die beifällige Beurtheilung des Grafen Saporta ist, so dürfen wir doch nicht ausser Acht lassen, dass heutzutage noch an unserem Himmel ein kosmisch-planetarischer Körper sich befindet, der Eigenschaften an sich trägt, wie sie Dr. Blandet von der Sonne in ihrem damaligen Zustande verlangt. Wir meinen das *Zodiacallicht*. Die namhaftesten Astronomen erklären dasselbe geradezu für einen Ring, der frei um die Sonne rotirt. Abgesehen von Einzelheiten kann man sich wohl den Zustand der Sonne, den Blandet

vorführt, nicht anders vorstellen, als das Zodiacallight ist. Es ist aber gar Nichts bekannt, dass dieses auch nur die geringste climatische Wirkung auf die Erde ausübte, und selbst für die Beleuchtung der Nacht hat dasselbe nur einen ganz untergeordneten Werth. Wenn man sich mit Blandet den Sonnenumfang auch in den verflossenen geologischen Perioden vergrößert vorstellt, so würden doch die Strahlen auch dieser Sonne über die Polarkreise der Erde hin nur sehr schief auffallen können. Eine so namhafte Erwärmung der Luft, als die Grönländer Pflanzen auch nur der Miocänzeit im Sommer verlangten, konnten sie kaum hervorbringen. Auf den Sommer aber folgte wegen des langen Untertauchens auch der vergrößerten Sonnenscheibe unter den Horizont, in jenen Gegenden jedenfalls ein sehr ernsthafter Winter, dem diese grönländischen Tertiärpflanzen hätten unterliegen müssen. Die Existenz von Steinkohlen und Kreidepflanzen aber in jenen Gegenden, von Pflanzen, die eine subtropische Temperatur verlangen und einen Winter in der ersten Bedeutung dieses Wortes ganz ausschliessen, ist vollends undenkbar. Ueberdiess müsste man, um die Periode der Eiszeit zu erklären, eine weitere Sonnenrevolution annehmen, von der man sich gar keine Vorstellung machen kann. Ob eine Erklärung derselben von Blandet versucht wurde, ist aus Saporta nicht zu entnehmen.

Eine andere eigenartige Hypothese rührt von D. Wettstein¹⁾ her. Von der Grundanschauung ausgehend, dass auch das Feste nur scheinbar fest, in der That beweglich sei, wird (l. c. S. 144) ausgeführt, dass Steinkohlenschichten in Spitzbergen, welche eine tropische oder subtropische Flora einschliessen, in Wirklichkeit sich unter den Tropen gebildet haben und dem allgemeinen Gesetze der Strömungen folgend, polwärts sich bewegt haben. Ebenso wird ausgeführt, dass, wenn die miocäne Flora auf climatische Zustände hinweist, wie sie jetzt nicht mehr an Ort und Stelle bestehen, sondern erst 10° oder 15° oder 20° weiter südlich — die betreffenden Schichten in der That daselbst entstanden seien, aber seither ihren Ort, dem Gesetze der Strömung folgend, verändert haben. Aehnliche Anschauungen von einer gewissen Beweglichkeit des scheinbar Festen und Starren tauchen in neuester Zeit bei nicht wenigen Naturforschern, besonders bei Geologen auf. Allein es stellen sich doch beträchtliche Schwierigkeiten in den Weg.

Stellen wir uns auf den Standpunct des Verfassers, so wäre erforderlich anzunehmen, dass während der Steinkohlenperiode etc., nur unter den Tropen sich Schichten gebildet hätten, nicht aber in mittleren und hohen Breiten; — denn die Flora und Fauna dieser Zeit trägt überall den gleichen tropischen Typus.

¹⁾ Die Strömungen des Festen, Flüssigen und Gasförmigen. 1880.

Der Grund hierzu ist aber schwer einzusehen. Erst in der Miocänzeit wäre auch in mittleren gemässigten Breiten der Process der Schichtenbildung vor sich gegangen; denn in dieser Periode findet man in der That in hohen Breiten wenigstens eine Flora, welche ein gemässigttes Clima voraussetzt; aber in den hohen polaren Breiten hätte selbst zur Molassezeit noch keine Schichtenbildung stattgefunden; denn eine dem Polarkreise entsprechende Flora und Fauna fehlt auch in dieser Periode noch gänzlich.

Andererseits zeichnet sich die Quartärzeit durch polare Flora und Fauna auch in mittleren Breiten aus. Somit müsste (nach dem Princip Wettstein's) während der quartären Zeit die Schichtenbildung ausschliesslich in den hohen und höchsten Breiten stattgefunden und die Schichten dann von dort in die niedrigeren Breiten sich bewegt haben. Die Wahrscheinlichkeit ist gering. Aber mehr noch. Den Steinkohlenschichten etc. sieht man allerdings äusserlich nicht an, ob sie unter dem Aequator oder unter den Polen gebildet worden seien. Aber für das Schichtenmaterial der quartären Zeit kann man den Ursprungsort nachweisen. Das Schichtenmaterial der norddeutschen Ebene stammt aus Norden, aus Scandinavien, aber ebenso sicher ist, dass das quartäre Schichtenmaterial am Fuss der Alpen nicht in polaren Gegenden seinen Ursprung hat, sondern in den Alpen selbst. Gleiches lässt sich feststellen vom quartären Schichtenmaterial der andern Gegenden, in welchen diese Formation überhaupt vorhanden ist.

Dass dieses Schichtenmaterial dislocirt wurde, ist richtig, aber es ist doch nicht jene hypothetische »Gleitschicht«, welche als Grundlage der starren Schichten die Dislocirung derselben überhaupt ermöglichen und bewirken soll, sondern es ist die ganz bekannte Gleitbahn der Gletscher.

Unsere eigene Ansicht können wir in kurzer Uebersicht vorläufig so darstellen. Wir gehen von der Grundanschauung aus, dass die tellurische Entwicklung der Erdoberfläche und die climatischen Verhältnisse im innigsten Zusammenhang stehen; sie verhalten sich wie Ursache und Wirkung, oder auch sie stehen in Wechselwirkung mit einander. Die tellurischen Verhältnisse der alten geologischen Perioden waren so beschaffen, dass durch dieselben ein sehr gleichförmiges und zugleich warmes Clima über die ganze Erdoberfläche hin hervorgehoben wurde. (I. Capitel).

Zur Zeit der Tertiärformation erst (beziehungsweise am Ende der Kreideformation) war die Entwicklung der tellurischen Verhältnisse allmählich so weit vorgeschritten, dieselben soweit differenzirt, dass diese Differenzirung auch in den climatischen Verhältnissen sich auszudrücken anfang. Das Ende der Tertiärzeit (Pliocän) insbesondere weist in Verbindung mit dem entschiedenen Hervortreten der reif gewordenen Continente und ihren Unebenheiten, auch ein

entsprechend differenzirtes Clima auf. (II. Capitel.) Hiedurch und speciell durch die besondere Qualität der Unebenheiten des Landes (Gebirge) trat als Folgeerscheinung das Clima der quartären Zeit auf. (III. Capitel). Diese sogenannte Eiszeit trägt jedoch mehr den Charakter einer vielleicht lange dauernden Uebergangszeit an sich, deren specifische Ursachen im Gang ihrer Entwicklung abgeschwächt und beseitigt wurden. Das Clima der Gegenwart aber (IV. Capitel) ist das Resultat aller bisherigen Fortschritte und Schwankungen in der Entwicklung der tellurischen Verhältnisse der Oberfläche unseres Planeten.

In den folgenden Capiteln werden wir suchen, diesen Gedankengang näher zu begründen.

Erstes Capitel.

Erklärung der climatischen Verhältnisse der alten geologischen Periode.

Erster Artikel.

Die Bedeutung des reinen Seeclimas gegenüber dem Normalclima der Gegenwart.

Professor Dove ¹⁾ in Berlin hat das Normalclima für die nördliche Halbkugel berechnet. Er erklärt, dass er unter diesem Ausdruck verstehe: »die mittlere Jahrestemperatur des Parallels (auf die Meeresfläche reducirt), somit jene Temperatur, welche der Parallel an allen Punkten zeigen würde, wenn die auf ihm wirklich vorhandene, aber ungleich vertheilte Temperatur gleichförmig vertheilt wäre«.

Andererseits hat Sartorius von Waltershausen ²⁾ das reine Seeclima der Gegenwart berechnet. Unter zu Grundlegung von 19 möglichst insularen Stationen auf der nördlichen und südlichen Halbkugel berechnete er (nach der Methode der kleinsten Quadrate) die mittlere Jahrestemperatur der Parallelkreise unter dem Gesichtspuncte, dass die Erdoberfläche gänzlich mit Meer bedeckt sei oder das Land so sehr zurücktrete, dass dasselbe sich climatisch nicht geltend zu machen vermöge.

In Tabelle I sind die Resultate dieser beiden Auffassungsweisen zusammengestellt unter Hinzufügung der Differenz des Normalclimas und des reinen Seeclimas der Gegenwart in einer besonderen Colonne. Diese Tabelle umfasst nur die nördliche Halbkugel, da Dove das Normal-

¹⁾ Verbreitung der Wärme auf der Oberfläche der Erde. 1852. S. 14.

²⁾ Untersuchungen über die Climate der Gegenwart und Vorwelt etc. 1865. S. 124.

clima der südlichen Halbkugel zu wenig berücksichtigt, so dass seine spärlichen Angaben darüber sich nicht zu einer tabellarischen Vergleichung eignen. In der II. Abtheilung, Capitel I. wird übrigens auf die climatischen Eigenthümlichkeiten der Südhemisphäre speciell eingegangen, werden unter Benutzung der neuesten Untersuchungen von Prof. Hann. Obwohl nun die climatischen Zustände der Südhalbkugel nicht unbeträchtlich von jener der Nordhalbkugel sich unterscheiden, so sind doch jene letzteren aus dem Grund von weit aus grösserer Wichtigkeit, weil paläontologische Untersuchungen nur auf der Nordhemisphäre in grossem Umfang ausgeführt wurden, auf der Südhemisphäre aber kaum begonnen haben.

Da beide Autoren ihre Tabellen in Graden nach Réaumur abgefasst haben, so wurde diese Gradeintheilung hier beibehalten.

Tabelle I.

1. Breitegrad.	2. Normalclima der Gegenwart nach Dove.	3. Reines Seeclima der Gegenwart nach Sartorius.	4. Differenz zwischen 2 und 3 zu Gunsten der Wärme des Seeclimas.
90	— 13°,20 R.	+ 0°,84 R.	+ 14°,04 R.
80	— 11°,20	+ 1°,49	+ 12°,69
70	— 7°,10	+ 3°,36	+ 10°,46
60	— 0°,80	+ 6°,20	+ 7°,00
50	+ 4°,30	+ 9°,68	+ 5°,38
40	+ 10°,90	+ 13°,33	+ 2°,43
30	+ 16°,80	+ 16°,70	— 0°,10
20	+ 20°,20	+ 19°,34	— 0°,86
10	+ 21°,30	+ 20°,89	— 0°,41
0	+ 21°,20	+ 21°,14	— 0°,06

Betrachtet man nun die Ziffern dieser Tabelle, so erkennt man vor Allem bei dem Seeclima eine beträchtlich grössere Gleichförmigkeit der Temperatur unter den verschiedenen Breitengraden, als bei dem Normalclima.

Das Normalclima zeigt Differenzen zwischen Aequator und Pol von 34°,40 R.; das reine Seeclima aber nur 20°,30 R. Und doch sind auch bei Berechnung des Normalclimas die gebirgigen Erhebungen des Festlandes durch Rechnung eliminirt und überall die Meeresfläche zu Grund gelegt.

Die andere hervorragende Eigenthümlichkeit ist, dass die Ziffern des reinen Seeclimas ganz überwiegend zu Gunsten einer grösseren Wärme sich darstellen, die jedoch in verschiedenen Breiten sehr verschieden ist. Besonders in hohen und höchsten

Breiten beträgt die höhere Wärme des reinen Seeclimas den gewaltigen Betrag von 13—14° R. gegenüber dem Normalclima. Noch viel schärfer tritt der Unterschied nach beiden Seiten heraus, wenn ein einzelnes Beispiel von extremem Continentalclima und extremem Seeclima herausgegriffen wird, und zwar unter gleichen Breitengraden.

Die Faröer (62°,3 n. Br.) haben eine mittlere Jahrestemperatur von + 7°,3 C., der kälteste Monat + 2°,7 C., der wärmste + 12°,3 C., die Differenz 9°,6 C. Dagegen hat Jakutzk in gleicher Breite, aber in Mitten von Sibirien, eine mittlere Jahrestemperatur von — 10°,3 C., der kälteste Monat — 43°,0 C., der wärmste + 20°,4 C., die Differenz volle 63°,4 C.! Die mittlere Jahrestemperatur aber stellt sich auf die Faröerinseln um 17°,6 C. höher, als in dem extrem continentalen Clima von Jakutzk. Aber selbst in mittleren Breiten wirkt das reine Seeclima noch recht stark zu Gunsten der grösseren Wärme. Nur in den Tropen stellt sich die Temperatur des reinen Seeclimas der Gegenwart nicht mehr zu Gunsten grösserer Wärme; es findet sogar eine Abkühlung statt, aber dieselbe ist überall so schwach, dass sie nirgends ganz 1° R. erreichte.

Diese Eigenthümlichkeiten des reinen Seeclimas lassen sich aus den physikalischen Eigenschaften des Wassers leicht ableiten.

Es ist bekannt, dass das Wasser unter allen Stoffen die grösste spezifische Wärme besitzt, dass dasselbe somit am langsamsten sich erwärmt, aber auch am langsamsten erkaltet. Es wird schon aus diesem Grunde die mittlere Temperatur des reinen Seeclimas eine innerhalb engerer Grenzen schwankende, beträchtlich gleichförmigere sein, als das Normalclima, welches mit Land und Wasser zugleich zu thun hat.

Die höhere Temperatur des Seeclimas aber kann nicht befremden, wenn man bedenkt, dass die Wasser der Meere in beständiger Circulation sind und dass bei dieser Circulation die wärmeren Wasser wegen ihres grösseren Volumens oben sich halten, während die kälteren Wassertheile sich in die Tiefe senken.

Die obersten Schichten des Wassers, die für die Berührung mit der Atmosphäre und deshalb für die climatischen Verhältnisse die Ausschlag gebenden sind, sind zugleich die wärmsten. Dove hebt noch einen weiteren Gesichtspunct hervor, das Herauffördern der Wärme des Meeresgrundes an die Oberfläche durch die Flüssigkeit des Wassers. »Die flüssige Grundlage, sagt er, (S. 4) erneuert sich ununterbrochen; denn jede Temperaturerniedrigung an der Oberfläche bringt nicht nur ein Sinken des schwerer gewordenen Wassers in die Tiefe hervor, sondern auch ein Heraufsteigen des wärmeren an seine Stelle. Hierdurch wird der Tiefe des

Meeres die Wärme entzogen, welche wir an seiner Grundfläche finden würden, wäre sie eben so tief unter einer festen Oberfläche gelegen, als sie von der flüssigen Oberfläche abliegt.«

Dass unter den Tropen überhaupt bedeutende jährliche Temperaturschwankungen nicht vorkommen, ergibt sich von selbst, weil die Stellung der Sonne zur Erde und die Tageslänge daselbst keine nennenswerthen Unterschiede darbieten. Doch ist auch hier das reine Seeclima gleichförmiger, nur dass dasselbe hier nicht zu Gunsten grösserer Wärme wirkt. Die hohe specifische Wärme des Wassers erklärt auch diesen Umstand.

Die Eigenschaft des Wassers, die vorhandene Temperatur mit Zähigkeit festzuhalten und dadurch die Unterschiede auszugleichen, lässt sich auch noch an anderen Erscheinungen wahrnehmen, besonders an den Meeresströmungen, sowohl an den warmen (Golfstrom) als an den kalten (peruanischer etc. Strom). Je nach der Jahreszeit und geographischen Breite beträgt der Temperaturunterschied des warmen Wassers des Stroms gegenüber dem ausserhalb desselben befindlichen 5° — 15° C. Der peruanische kalte Strom aber bewahrt seine niedrige Temperatur bis unter den Aequator (Galapagosinseln) so, dass seine Wasser um 10° — 12° C. kälter sind, als die des umgebenden Meeres. (Wettstein l. c. S. 203 und 209.) Wenn freilich der Fall eintritt, dass ein kalter und ein warmer Strom sich kreuzen oder wenigstens zusammenstossen, wie es in der That bei dem Golfstrom und Labradorstrom in der Nähe von Neufundland geschieht, so hebt sich ihre Wirkung zwar nicht ganz auf, aber sie wird beträchtlich abgeschwächt. Man kann sich leicht eine Vorstellung machen, wieviel Wärme dem Golfstrom durch die schwimmenden Eisberge des Labradorstroms, die in ihm abschmelzen, entzogen wird und wie viel energischer seine Wirkung sein würde, wenn ihm diese Eismassen nicht begegnen würden. Die Bank von Neufundland verdankt ihre Entstehung den Felsblöcken und dem Schutt, welcher bei dem Abschmelzen der Eisberge zu Boden gefallen ist.

In den alten geologischen Perioden war nun von Eisbergen entfernt keine Rede und die warmen Strömungen vom Aequator her konnten desshalb ihre ungeschwächte wärmende Kraft ausüben. Die schwimmenden Eisberge sind ihrem Ursprung nach wesentlich ein Product des Landes und zwar des gebirgigen Landes; sie sind Producte der Gletscher, welche ihre Eismassen in das Meer ergiessen. Dieser Einfluss der continentalen gebirgigen Beschaffenheit der Erdoberfläche fällt für die alten geologischen Perioden selbstverständlich ganz weg, weil damals der Ocean im Besitz der Erdoberfläche war. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass auch Sartorius von Waltershausen bei seiner Berechnung des reinen Seeclimas solche Stationen, deren Temperatur durch derartige continentale Einflüsse herabgedrückt wird, ausgeschlossen hat; offenbar mit Recht. Bei Berechnung des reinen Seeclimas müssen die

Einflüsse der Continente, seien sie nun directe oder indirecte mit Consequenz soweit möglich fern gehalten werden.

Aus den bisherigen Darstellungen ergibt sich, dass in dem reinen Seeclima eine typische Annäherung an das Clima der alten geologischen Periode unverkennbar zu Tage tritt; die grössere Gleichförmigkeit der gesammten Temperatur der Erdoberfläche und die grössere Wärme in allen Breiten, jedoch mit Ausnahme der Tropen, das sind charakteristische Züge, welche das Clima der Urzeiten mit dem reinen Seeclima gemeinsam hat. Ferner ist hinzuweisen auf die eigenthümliche Abstufung in der Vertheilung der Wärme von den Tropen gegen die Pole. In den mittleren Breiten oder in der gemässigten Zone ist die Zunahme der Erwärmung bei dem Seeclima, gegenüber dem Normaleclima zwar schon sehr merklich und beträgt im Durchschnitt 5° — 6° R, aber noch viel beträchtlicher wird dieselbe in dem Polarkreise und steigert sich hier schliesslich bis zu 14° R. Das sind die empirischen Wirkungen der Warmwasserheizung bei der heutigen Ordnung der Dinge. Diese starken Effecte werden hervorgebracht durch die oberflächliche Zuströmung des in höherer Breite erwärmten Wassers des Oceans. Alle diese Punkte müssen bei Erforschung des Climas der alten geologischen Formationen im Auge behalten werden; denn der climatische Typus derselben und die Beschaffenheit des reinen Seeclimas zeigen nach all diesen Seiten eine in die Augen fallende Verwandtschaft, wenn auch die wirklichen Temperaturziffern desselben in mittlerer und hoher Breite noch weit auseinanderliegen. Aber man darf hoffen, in dem reinen Seeclima der Gegenwart die feste Basis und die erste Stufe zu besitzen, von wo aus man sich dem räthselhaften Clima der Urzeiten nähern kann. Der Beweis braucht kaum ausführlich geliefert zu werden, dass in den alten geologischen Perioden das oceanische Clima das entschieden vorherrschende war. Die Schichtene complexe dieser Formationen schliessen überall fast ausschliesslich nur Reste von solchen Organismen ein, welche dem Meere angehörten. Die Reste von Landthieren und Landpflanzen fehlen nicht ganz; aber das Vorkommen derselben ist sporadisch, weil das Festland selbst nur in Form von wenig umfangreichen Inseln, die den Namen von Continenten nicht beanspruchen können, vorhanden war. Die relativ grösste Ausdehnung hatte in den alten Perioden ohne Zweifel das Land zur Zeit der Steinkohlenformation. Aber dieses Land war sehr niedrig und sumpfig, sank oft unter den Meeresspiegel hinab, so dass auch in dieser Periode die Erdoberfläche des oceanischen Characters nicht verlustig wurde. Dabei darf nicht übersehen werden, dass, wenn von der grossen Ausdehnung der Steinkohlenformation gesprochen wird, darunter auch der Kohlenkalkstein, eine rein meerische Ablagerung begriffen ist. Selbst noch die nichtmeerischen Schichten der Keuperlandschaft ver-

rathen in ihren Calamiten etc. sehr bestimmt den Character eines sumpfigen Terrains, nicht den eines trockenen oder gebirgigen Landes. In der Jura- und Kreideformation überwiegen die meerischen Bildungen mit grosser Entschiedenheit.

Wenn es nun unter Grundlegung des oceanischen Climas gelingen würde, noch einen weitem Schritt zu thun und die climatischen Eigenschaften desselben noch zu verstärken, so würde man dem Clima der alten Periode immer mehr sich nähern. In den folgenden Artikeln werden wir suchen, diese Annäherung zu erreichen.

2. Artikel.

Von den Bewölkungsverhältnissen der Erde in den alten geologischen Perioden.

Der Luftocan, der die Oberfläche der Erde umgibt, zeigt heutzutage überall sehr wechselvolle Zustände der Heiterkeit und Trübung in sehr weiten Grenzen. Derselbe enthält Wasser, aber sowohl in der Form des unsichtbaren Wasserdampfs, als in der sichtbaren Form des Dunstes, Nebels, der Wolken in allen denkbaren Nüancen.

Hierdurch wird das Spiel der Zustrahlung und Ausstrahlung der Wärme auf der Oberfläche der Erde sehr verwickelt; nur so viel steht fest, dass durch Heiterkeit des Himmels die Temperaturdifferenzen zwischen Tag und Nacht (Temperaturcurven des Thermographen) gesteigert, durch Bewölkung aber vermindert, verflacht werden.

Ob nun die Heiterkeits- und Trübungsverhältnisse zu allen geologischen Perioden den gleichen Grad und Character gehabt haben, wie heutzutage, darüber lässt sich mit Sicherheit nichts sagen. Wir betreten hier ein Gebiet, welchem der hypothetische Character nicht ganz abgestreift werden kann. Allein eine Reihe von Gründen spricht dafür, dass die Bewölkung in den alten und ältesten Erdperioden eine stärkere und constantere gewesen sein müsse, als heutzutage; jedoch nicht so stark, dass durch dieselbe die Tageshelle selbst wäre ausgelöscht worden. Die hauptsächlichsten Gründe sind:

1) Es ist selbstverständlich, dass, so lange die Oberfläche der Erde zum allergrössten Theil mit Wasser bedeckt war und wohl Inseln aber keine Continente im heutigen Sinn bestanden, die Verdampfung des Wassers in weiterem Umfang stattfinden musste, als heutzutage, wo nahezu der dritte Theil der Oberfläche aus trockenem Land besteht.

2) Ebenso ist einleuchtend, dass die durch die Sonne über den Tropen stark erwärmte Luft am meisten mit Wasserdampf gesättigt wurde, der sich aber bei seinem Abfliessen gegen die höheren Breiten nicht mehr als unsichtbarer Wasserdampf in der kühleren Luft erhalten konnte, sondern sichtbare Dunst- und Wolkenform annahm. Bei den höchst einfachen geo-

graphischen Verhältnissen der ältesten Perioden der Erde wird dieser Process der Verdichtung des Wasserdampfes ein sehr regelmässiger und constanter gewesen sein.

3) Die trockenen Landwinde, welche geeignet sind, die Wolken aufzusaugen und heitern Himmel hervorzurufen fehlten dazumal ganz. Gebirgshöhen mit verschiedener Temperatur und dadurch hervorgerufener Aspiration und unregelmässigem Einfluss auf die Witterung fehlten ebenfalls ganz.

4) Die Pflanzen, welche in den ältesten Perioden existirten, waren so beschaffen, dass dieselben nach Analogie der lebenden (Bärlappen und Farren) der Einwirkung des directen Sonnenlichtes wenig bedurften (Heer). Sie stehen somit in gutem Einklang mit einem constant bewölkten Himmel. Graf Soporta (l. c., S. 179) weist auf die sehr eigenthümliche innere Structur der Steinkohlenpflanzen hin und zieht daraus den Schluss, dass die Steinkohlenperiode noch keine regelmässige Ordnung der Jahreszeiten besass. »Unter dem Einfluss einer, constanten, feuchten Wärme, strebten die Gewächse nach beständiger Vermehrung ihrer weichen zelligen Gewebe. Die Erschöpfung konnte allein ihrer ohne Unterlass fortgesetzten Entwicklung ein Ziel setzen; keine periodische Wiederkehr führte für sie jene abwechselnde Zustände von Ruhe und Thätigkeit herbei, welche jetzt die Vorzüge des Pflanzenreichs beherrschen und von welchen fast alle heutigen Phanerogamen uns das Schauspiel geben.« Eine solche Beschaffenheit der Pflanzen, welche den Wechsel der Jahreszeiten ausschliesst, selbst in mittleren und hohen Breiten, lässt sich nur mit einem constant bewölkten Himmel in Einklang bringen, welcher sich über niedrigen Inseln oder Archipelen ausspannte. Hier konnte sich, wenn nur die umgebende Gewässer warm genug waren, ein solcher Zustand der Temperatur bilden und erhalten. Die Temperatur hing dann wenig von dem Stand der Sonne ab; die Wärme wurde durch das Wasser gebracht und durch die constante Dunsthülle bewahrt zu jeder Jahreszeit.

5) Auch die Insecten jener Zeit (Kakerlaken und Termiten) sind der Mehrzahl nach nächtliche Thiere (Heer). Die Organisation des Trilobitenauges, welches man für die Existenz eines heitern Himmels in den ältesten Perioden anführte, beweist doch nicht mehr, als dass auch in diesen alten Perioden Tageshelle vorhanden war. Denn nicht blos entbehrt ein Theil dieser artenreichen Gruppe gänzlich der Sehorgane, sondern nach Barrande waren dieselben pelagische Thiere, die auf dem Grund des Oceans lebten, deren Sehorgane schon aus diesem Grunde nur ein abgeschwächtes Licht empfangen konnten (cf. Bronn: Classen und Ordnungen des Thierreichs Bd. V, S. 1168 und 1260).

6) Sehr wichtig und instructiv sind die astronomischen Beobachtungen, die an andern planetarischen Körpern gemacht wurden. Offenbar befinden sich nicht sämmtliche Planeten im

gleichen Stadium ihrer geologischen Entwicklung. Die grossen Kugeln (Jupiter, Saturn) befinden sich in einem jüngeren Stadium als die kleine Kugel, z. B. des Mondes der Erde. Nun ist es aber interessant, dass gerade die zwei grössten Planeten nach allgemeiner Uebereinstimmung nicht blos sehr mächtige, sondern constant bewölkte Atmosphären zeigen. Auch die Venus, die der Erde an Grösse gleich steht, aber, weil zu den innern Planeten gehörig, wohl jüngeren Ursprungs ist als die Erde, besitzt eine »dichte Atmosphäre, die mit Wolken fast ständig bedeckt ist, sehr selten nur hinreichend klar ist, um den Anblick der eigentlichen Oberfläche des Planeten zu gestatten«. (H. Klein: Durchmusterung des Himmels S. 100).

Wie selten die Wolkendecke der Venus zerreisse, geht daraus hervor, dass von der ersten Beobachtung ihrer festen Oberfläche durch Bianchini bis zur sichern Wiederbeobachtung derselben durch de Vico 120 Jahre vergingen. Herrschel sah dieselbe niemals. (H. Klein.)

Andererseits hat die kleinere Kugel des Mars zwar eine Atmosphäre ähnlich der Erde, aber weniger wolkig, so dass es Schiaparelli gelungen ist, eine Karte der gesammten Oberfläche innerhalb kurzer Zeit zu entwerfen.

Die noch kleinere Kugel des Mondes der Erde aber ist in ihrer Entwicklung soweit vorgeschritten, dass dieselbe der Atmosphäre und des Wassers verlustig geworden ist.

Es scheint hier ein allgemeines planetarisches Entwicklungsgesetz vorzuliegen, dessen allgemeine Züge, bei aller Mannigfaltigkeit der einzelnen Planeten, doch im Grossen übereinstimmen.

Diese und ähnliche Gründe haben denn auch die besonnensten Paläontologen und Geologen ¹⁾ bewogen, den ältesten Perioden der Erde eine mehr oder weniger starke Bewölkung zu vindiciren, ohne dass jedoch dieser Gesichtspunkt weiter verfolgt worden wäre.

Es wird somit keine allzu gewagte Bahn betreten werden, wenn wir auch unsererseits diese Voraussetzung machen; nur muss eine genauere Erklärung gegeben werden, wie dieser Zustand zu denken sei und wie seine Wirkung auf die climatischen Zustände der Erdoberfläche aufgefasst werden müsse. Der Schwerpunkt der Aufgabe liegt nicht in dem an und für sich gar nicht fern liegenden, aber in solcher Unbestimmtheit unfruchtbaren Gedanken einer stärkeren Bewölkung der Atmosphäre der Urzeiten, sondern in der genaueren Präcisirung dieses Zustandes und besonders in der möglichst concreten Entwicklung der Art und Weise der Einwirkung desselben auf die climatischen Verhältnisse der alten Erdperioden.

Die genauere Vorstellung, wie wir uns den Zustand der constanten Bewölkung denken, lässt sich in wenigen Zügen darstellen.

¹⁾ z. B. Heer: *Urwelt*. 2. Auflage. S. 21.

1) In den Tropen und den nächstgelegenen Gegenden besteht heutzutage ein System von Passaten und Calmen, das sich über den ganzen Gürtel, soweit er nicht durch Continente unterbrochen ist, fortsetzt, sowohl durch den Atlantischen als Stillen Ocean. In dieser Region tragen die meteorischen Verhältnisse so sehr den Stempel der strengen Regelmässigkeit an sich, dass nichts entgegensteht, diese gesetzmässigen Verhältnisse bis in die ältesten Perioden der Erde, in denen das organische Leben anfing, zurückzudatiren. Selbst die Ausnahmen von der Regel (Monsuns im Indischen Meere) lassen sich auf Einflüsse der Continente zurückführen und konnten somit in jenen alten Perioden, denen die Continente fehlten, gar nicht vorkommen. Auch in den alten Perioden schon musste sich ein Wärmeäquator ausgebildet haben, der von dem geographischen Aequator wohl im Laufe des Jahres gegen die Wendekreise hin oscillirte, aber doch in seiner durchschnittlichen mittleren Lage von ihm kaum abweichen konnte. Ebendamit musste sich eine Zone aufsteigender, meisterwärmter Luft daselbst bilden (äquatoriale Calmen) und damit war der Anstoss zu Passaten und Antipassaten gegeben; es entstand innerhalb der Tropen ein in sich geschlossenes System der Luftcirculation, das im Laufe der Zeiten und der späteren Entwicklung der Erdoberfläche wohl manche Störungen (durch die Continente) erleiden musste, das aber in seinem ursprünglichen Character innerhalb der tropischen Gebiete der grossen freien Oceane (atlantisches und stilles Meer) sich am besten conserviren konnte. Aus diesen Gründen gehen wir von der Annahme aus, dass dem ganzen Tropengürtel in der Urzeit das gleiche Maas von Heiterkeit und Trübung des Himmels, von Zustrahlung und Ausstrahlung zugekommen sei, in dessen Besitz dasselbe heutzutage noch über dem tropischen Theil des Stillen und Atlantischen Oceans sich befindet.

2) Von dieser mittleren Zone weg gegen die höheren Breiten zu hatte sich in der Urzeit eine constante Dunst- und Wolkenhülle festgesetzt, welche dünner gegen die Tropen, dichter gegen die Pole zu war. Man wird hiebei an die mit dem Aequator parallel laufenden Streifen des Jupiter und Saturn erinnert, die sichtlich auf eine zonenweise Anordnung des Gewölks daselbst hinweisen.

Der Grund für unsere Annahme liegt darin, dass die Condensation des Wasserdampfs zu sichtbarem Dunst und zu Wolken beim Eintritt der dampfgesättigten Luft in weniger warme Regionen sich vollzog. Sobald der über den Tropen mit Wasserdampf erfüllte Luftstrom bei seinem Abfluss nach den höhern Breiten in Regionen kam, die, bei gleicher Höhe, einen geringeren Wärmegrad besaßen, so ging ein Theil seines unsichtbaren Wasserdampfs in sichtbare Bläschen (Dunst, Nebel, Wolken) über. Bei der sehr grossen Gleichförmigkeit, besser Ein-

förmigkeit der geographischen Zustände der alten Perioden musste dieser Process ein sehr regelmässiger sein, d. h. die Bewölkung der Atmosphäre in den ausserhalb des Tropengürtels gelegenen Theilen der Erdoberfläche musste constant sein.

Die Vorstellung, die wir uns von den Bewölkungsverhältnissen der alten geologischen Perioden machen, ist somit keineswegs verwickelt und widerstreitet keinem Naturgesetze; sie ist einfach und vom Standpunkt der Physik nicht abzulehnen.

Ueber die Art und Weise aber, wie diese Bewölkung auf die climatischen Zustände zu wirken vermochte und beziehungsweise wirken musste, sowie über die Intensität ihrer Wirkung, darüber müssen wir uns ausführlicher verbreiten. Die beiden nächsten Artikel werden diese Seiten dieses Gegenstandes behandeln.

3. Artikel.

Ueber die Art und Weise der Ausgleichung der Temperatur durch die constante Bewölkung in den alten geologischen Perioden.

Dass die Bewölkung und besonders eine constante Bewölkung auf die Temperatur überhaupt ausgleichend wirke, zeigt die tägliche Erfahrung. Die Grenzen der Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht, Sommer und Winter werden eingeengt. Das ist ganz begreiflich, weil durch die Bewölkung sowohl die Zustrahlung als die Ausstrahlung vermindert wird.

Allein bei der oceanischen Beschaffenheit der Erdoberfläche in den alten Erdperioden wirkte die Bewölkung nicht bloß einfach ausgleichend, sondern ausgleichend zu Gunsten einer höheren Wärme.

Im ersten Artikel sind schon die Gründe angegeben, wesshalb das oceanische Clima auch bei den gegenwärtig bestehenden Verhältnissen der Erdoberfläche nicht bloß ausgleichend, sondern (in den mittleren und höheren Breiten) zugleich erwärmend wirkt. Das gilt nun in den alten Erdperioden in gesteigertem Maasse wegen ihrer constanten Bewölkung. Wenn, wie vorausgesetzt wird, in diesen Zeiten von den Wendekreisen polwärts eine constante Wolkenhülle sich ausbreitete, so traten die unter den Tropen erwärmten Wasser des Oceans, die Meeresströmungen, in Regionen ein, wo sie zwar vor weiterer Erwärmung durch Zustrahlung, aber auch vor weiterer Abkühlung durch Ausstrahlung ausgiebig beschützt wurden.

Das Resultat ist aber dennoch ein positives zu Gunsten der grösseren Erwärmung der hohen Breiten. Würde die Temperatur der Gewässer des Oceans abhängen ganz allein von

jenem Wärmeempfang durch die Sonne, wie er den betreffenden Breitegraden zukommt, würde die Wärme erst in diesen Breitegraden erzeugt, so wäre eine positive Erhöhung der Wärme undenkbar. Allein die Wärme der oceanischen Gewässer die in geschlossenem Kreislaufe vom Aequator polwärts abfliessen, wird nicht erst in den mittleren und hohen Breiten erzeugt, sondern diese Gewässer bringen schon eine Temperatur mit sich, die sie unter den Tropen empfangen haben, die also jene der mittleren und hohen Breiten namhaft übersteigt und diese Temperatur wird durch die constante Wolken- und Dunsthülle, wenn nicht absolut, aber zu einem namhaften Theil conservirt. Das ist ja auch heutzutage noch der Fall. In der Breite der Faröerinseln wird heutzutage keine mittlere Jahrestemperatur von $+ 7^{\circ},3$ C. erzeugt; diese Wärme ist zu einem nicht geringen Theil dorthin importirt durch Meeresströmungen, die aber heutzutage freilich durch keine constante Dunsthülle mehr vor Ausstrahlung in den Weltraum geschützt werden. Wäre die Wärme des Wassers des atlantischen Oceans noch besser geschützt und zusammengehalten, so würde auch seine heutige Temperatur eine noch höhere selbst in diesen entfernten Gegenden sein.

Diese nicht an Ort und Stelle erzeugte, sondern aus den Tropen importirte Wärme, die durch die constante Bewölkung auch noch jenseits der Wendekreise nicht absolut, aber immerhin kräftig conservirt wird, ist im Stande, die Temperatur der Oberfläche in den höheren und mittleren Breiten zu steigern. Es liegt hier der Fall einer natürlichen Wasserheizung vor, deren Effect durch eine vor Verlusten schützende äussere Umhüllung verstärkt wird. Auch schon bei den heutigen wechselvollen Verhältnissen der Heiterkeit und Trübung der Atmosphäre vermag das Meer eine viel grössere Wärme in hohen Breiten zu bewahren. Der Grund davon ist nach der vorangegangenen Darlegung die grosse specifische Wärme des Wassers und dass die warmen Wasser oben schwimmen. In den alten Erdperioden trat diese Wirkung noch entschiedener hervor, weil (nach unserer Annahme) eine constante Wolkenhülle sich ausbreitete, die in hohem Grad geeignet war, die Wärme des Wassers noch kräftiger vor Verlusten zu schützen. Der Sachverhalt wird am besten verstanden werden, wenn ein verkleinerter Maassstab zu Grund gelegt wird.

Stellen wir uns eine rotirende Kugel von c. 1 m Durchmesser vor, deren Oberfläche fast ganz mit Wasser bedeckt ist; dieselbe werde in ihrer Mitte in einer Ausdehnung von $23\frac{1}{2}^{\circ}$ jederseits ihres Aequators durch eine Licht- und Wärmequelle (Sonne) lebhaft bis zu 20° R. erwärmt. Von diesem (tropischen) Gürtel weg gegen die Pole soll eine Hülle constant sich ausbreiten, welche sowohl die Einflüsse der strahlenden Wärme von aussen, als auch die Ausstrahlung in die sehr kalte Temperatur des Raums ausserhalb nicht absolut aber in bedeuten-

dem Maasse zu verhindern vermag. Unter solchen Umständen wird man ohne Schwierigkeit, einsehen, dass nicht blos der äquatoriale Gürtel dieser Kugel von jederseits $23\frac{1}{2}^{\circ}$ erwärmt wird, sondern, dass sich das hier erwärmte Wasser überall hin bis nach den Polen in Strömungen vertheilen wird und, weil es seiner Wärme nicht verlustig werden kann, die Temperatur dieser Kugel auf ihrer ganzen Oberfläche eine nicht absolut aber annähernd recht gleichförmige und zugleich warme sein wird. Andererseits sieht man aber auch ein, dass mit dem Wegfall der angenommenen Hülle, mit der Möglichkeit einer ungehinderten Ausstrahlung in die sehr tiefe Temperatur des Aussenraums, die Gleichförmigkeit und Erwärmung gegen die Pole hin sich fühlbar vermindern wird.

Der eigentliche Grund der Erwärmung liegt in dem Vorhandensein und in der Beschaffenheit (specifischen Wärme) des Wassers, die durch den Schutz einer constanten Bewölkungshülle zu einer beträchtlich stärkeren Geltung kommt, als ohne diese. Der grosse Vortheil, den diese Auffassung darbietet, besteht darin, dass durch die Annahme einer constanten Bewölkung kein an sich neuer Wärmefactor eingeführt wird, der aus sich selbst und nach besondern Principien wirkte. Die Wirkungsweise der constanten Bewölkung ist vielmehr in den physikalischen Eigenschaften des Wassers schon enthalten; dieselbe trägt nur dazu bei, die letzteren kräftiger in die Erscheinung treten zu lassen.

Damit ist das Problem bedeutend vereinfacht. Es ist nicht erforderlich, dass erst die Gesetze erforscht werden müssten, wie die constante Bewölkung wirkt. Diese Gesetze sind schon gegeben, empirisch gegeben, in der Art und Weise, wie das reine Seeclima sich dem Normalclima gegenüber verhält; nur dass dieses Verhältniss in all' seinen Beziehungen noch um irgend einen Betrag gesteigert wird.

Die Annahme, dass gar kein Temperaturunterschied zwischen den Polen und dem Aequator in den alten Perioden bestanden habe, ist nicht zu halten. Irgend ein Unterschied muss wohl bestanden haben; denn auch eine dichte und constante Bewölkung ist kein absoluter Schutz gegen die Ausstrahlung; ebenso ist die Zähigkeit des Wassers, seine Wärme beizubehalten ebenfalls doch nur eine beschränkte. Die Frage ist nur: erreichte die Abkühlung des Meerwassers in den alten Perioden einen grösseren Grad als heutzutage, oder einen gleichen, oder einen kleineren? Grösser kann sie nicht gewesen sein; aber auch nicht gleich gross: denn heutzutage sind Factoren vorhanden, welche gerade in mittleren und hohen Breiten die Oscillationen der Temperatur und zwar im Sinne der Erkältung sehr begünstigen; das sind die Continente und die durch dieselben hervorgerufenen starken Unterbrechungen der Bewölkung. Die Abkühlung muss also kleiner gewesen sein, weil die Continente in den alten Perioden noch nicht

bestanden. Die weitere Frage, mit welcher der nächste Artikel sich befasst, ist: um welchen Betrag war die Abkühlung kleiner (oder die Wärme grösser) in der alten Periode als heutzutage? Das wird sich a priori freilich nicht bestimmen lassen; das feste Land ist zwar bei Berechnung des reinen Seeklimas, soviel als möglich in seinen directen Einflüssen eliminirt; aber damit sind noch nicht alle indirecten Einflüsse desselben, besonders die Unterbrechung der Bewölkung, die, vom Lande ausgehend, sich auch über die Meere hin verbreitet, beseitigt. Die Seewinde treiben Wolken in die Continente, aber die Landwinde heitern auch den bewölkten Himmel der Meere auf. Diese Oscillationen sind überall vorhanden; es kommen überall Perioden vor, in welchen durch den Einfluss der Bewölkung die Temperaturcurven (Secchis Apparat) auf einen geringsten Betrag herabgedrückt werden, aber auch andere, in welchen dieselben steil auf- und absteigen.

Diese Oscillationen, die von dem Zustande der Bewölkung herrühren, sind bei der Berechnung des Seeclimas der Gegenwart gar nicht berücksichtigt worden; das Seeclima ist berechnet von dem Standpunkt einer gemischten, nicht seiner constanten Bewölkung. Um aber das reelle Clima der alten Perioden zu erlangen, in welchem das oceanische Clima in der Reinheit und Stärke seines Charakters noch nicht durch den Einfluss einer unterbrochenen Bewölkung geschwächt war, muss auch dieses Moment berücksichtigt werden. Das Wasser selbst hat zu jeder Zeit die gleichen physicalischen Eigenschaften; aber die vom Lande ausgehende Störung der Bewölkung war nicht immer vorhanden, wenigstens nicht immer gleich. Das Meer erlitt hierdurch allmählich eine Einbusse an seiner früheren Wärme in höheren Breiten, die bei der Forschung nach der Temperatur der alten Perioden zu ersetzen ist. Dieser Zuwachs der Wärme durch die constante Dunsthülle schliesst sich in allweg an die Temperaturverhältnisse des Seeclimas an, und steht zu demselben in irgend einer einfachen Proportion.

Die bisherige Entwicklung lässt sich in folgende Sätze zusammenfassen:

1) Der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht Sommer und Winter, überhaupt der ganze Gang der Jahrestemperatur wird schon durch die physicalischen Eigenschaften des Wassers bei der oceanischen Beschaffenheit der Erdoberfläche, auch bei den heutzutage bestehenden Bewölkungsverhältnissen stark eingeengt oder ausgeglichen. Noch mehr wird dies geschehen durch den Hinzutritt einer constanten Bewölkung.

2) Diese Ausgleichung der Temperatur fällt aus zu Gunsten einer grösseren Erwärmung. Schon die physicalischen Eigenschaften des Wassers allein, abgesehen von den Bewölkungsverhältnissen, bringen diese Wirkung hervor, wie sich in dem reinen Seeclima der Gegenwart offenbart. Noch mehr wird diess geschehen durch den Hinzutritt der constanten Bewölkung.

3) Die ausgleichend-erwärmende Wirkung des Oceans tritt in verschiedenen Breiten verschieden in die Erscheinung. In den niedrigen Breiten ist die Ziffer am kleinsten, in den mittleren mittelmässig stark, in den hohen am höchsten. Diess geschieht schon bei den heutigen Bewölkungsverhältnissen; durch den Hinzutritt einer constanten Bewölkung treten auch diese Verhältnisse noch schärfer hervor.

4) Die Temperatur der Tropen erleidet durch die Eigenthümlichkeiten des reinen Seeclimas überhaupt nur eine ganz geringe Aenderung. Nach der obigen Annahme waren die Bewölkungsverhältnisse unter den Tropen auch in den alten Perioden unverändert wie bei dem heutigen reinen Seeclima, so dass die Temperatur der Tropen durch dieselben überhaupt nicht weiter in Mitleidenschaft gezogen wurde.

Es erübrigt nun hauptsächlich noch die Beantwortung der Frage, ob der Betrag der ausgleichend-erwärmenden Wirkung durch die constante Wolkenumbüllung ganz unbestimmt gelassen werden müsse, oder ob es möglich sei, einigermaßen bestimmte Ziffern einzusetzen, wenn dieselben auch nicht auf endgültige Genauigkeit Anspruch machen können. Wenn dies gelingt, so wäre der sich ergebende Betrag einfach zu der Temperatur des reinen Seeclimas der Gegenwart zu addiren und könnte sich hiemit im günstigen Falle die Temperatur der alten Erdperioden als Resultat ergeben.

4. Artikel.

Ueber den numerischen Betrag der Ausgleichung und Erwärmung durch die Dunsthülle.

Sartorius von Waltershausen hat das Verdienst, dass er das Seeclima nicht bloß als den nächstverwandten climatischen Typus der alten Perioden aufgestellt hat, sondern dass er auch versucht hat, den Zuschuss an Wärme zu ermitteln, der den alten Formationen gebührt. Er strebt hiermit eine Bestimmtheit in der Methode wie in den Resultaten an, setzt sich aber freilich auch der Gefahr aus, dass seine Resultate in Incongruenz gerathen mit den paläontologischen Forderungen. Letzteres ist in der That, besonders seit der nähern Erforschung der arctischen fossilen Flora (Heer) in bedeutendem Grade eingetreten, wodurch der Erfolg seiner Arbeit geschmälert wurde. Allein, wenn auch Sartorius in den Ziffern, die er als Zuschuss zum Seeclima benützte, und in der Verwerthung desselben ohne Zweifel fehl gegriffen hat, so wird doch sein principieller Standpunkt und der Gang seiner Untersuchung, nur mit Vermeidung und, soweit es gelingt, mit Verbesserung seiner Irrungen, einzuhalten sein.

Zu der Grundlage des Seeclimas fügt Sartorius (l. c. S. 150), um das Clima der verschiedenen geologischen Perioden zu erreichen, hinzu:

- 1) Einen Wärmezuschuss aus dem Erdinnern, der jedoch von $3^{\circ},20$ R., während der Silurzeit, bis zur Diluvialzeit auf $0^{\circ},027$ R. (l. c. S. 155) sich vermindert.
- 2) Zuschuss durch Wolken, Regen und Winde 1° R. (l. c. S. 153).
- 3) Wärmetransport durch Meeresströmungen 2° R. (l. c. S. 153).

Eine theilweise Ausgleichung der Temperaturschwankungen durch stärkere Bewölkung wird von ihm nicht ignorirt, sondern im Betrag von $1^{\circ},70$ R. angeführt (l. c. 151); aber er fasst diese Ausgleichung nicht als zu Gunsten der grösseren Wärme beitragend auf, sondern als indifferent, so dass er dieselbe nicht wie die vorhergehenden drei Werthe zu dem Seeclima addirt.

Dass nun der Zuschuss der Wärme aus dem Erdinnern als über alle Breitengrade hin gleich, aber nach der Zeit (Formation, Dicke der Erdrinde) proportional abnehmend behandelt wird, kann nicht beanstandet werden. Sartorius behandelt aber nun auch die Werthe sub 2 und 3 gerade so nämlich als unter allen Breitengraden gleich, und nur als der Zeit (Formation) proportional abnehmend (l. c. S. 155); eine Annahme, die nicht haltbar sein wird. Diese Werthe sind wie man sieht, ohnedies nur das Resultat einer vagen Schätzung (und können der Natur der Sache nichts anderes sein), worüber man verschiedener Ansicht sein kann; ob damit wirklich ein glücklicher Griff gemacht sei, müsste erst der Erfolg zeigen. Zu wichtigeren Bedenken giebt aber die Behandlung derselben Veranlassung. So unanfechtbar es sein wird, dass die innere Erdwärme über alle Breitengrade hin gleichmässigen Zuschuss liefern wird und nur der Zeit (Formation) nach proportional abnehme, so unrichtig wird es sein, den Wärmezuschuss durch Meeresströmungen unter dem nämlichen Gesichtspunkt zu behandeln. Gerade die empirische Erforschung der climatischen Eigenthümlichkeiten des Seeclimas, die das Verdienst von Sartorius ist, giebt Aufschluss, dass jene Werthe nicht überall d. h. in allen Breitengraden gleichmässig angesetzt werden dürfen, sondern dass sie, ganz so wie das Seeclima gegenüber dem Normalclima, nach der geographischen Breite ab- und zunehmen (cf. Tabelle I). Das Seeclima bewirkt unter den Tropen keinen Zuwachs an Wärme gegenüber dem Normalclima; in mittleren Breiten eine mittleren, in hohen Breiten erst einen sehr beträchtlichen Zuwachs. Die Meeresströmungen, die von dem Meere selbst principiell gar nicht zu trennen sind, müssten eine geradezu unerklärliche Ausnahmstellung einnehmen, wenn durch sie die Temperatur sowohl der niederen und mittleren als auch der hohen und höchsten Breiten überall um 2° R. oder einen anderen, aber überall gleichbleibenden Werth, erhöht wurde. Es bedarf keines Beweises, sondern nur einer Hinweisung, dass die Art der Erwärmung durch Meeresströmungen

sich ganz im Einklang mit dem Seeclima selbst vollziehen muss, dass also der von denselben ausgehende Wärmezuwachs in höheren Breiten, dem Normalclima gegenüber, stetig wächst.

Ebenso sind Regen und Winde mit der Oberflächenbedeckung der Erde in engem Zusammenhang, können desshalb auch nicht über alle Breitengrade hin eine gleichmässige Erhöhung der Temperatur um 1° R. bewirken. Es ist auch hier wieder nicht die Frage, ob diese Ziffer an sich zu klein oder zu gross sein könnte, sondern nur, ob ein gleichbleibender Werth für alle Breiten in Anwendung gebracht werden dürfe. Ein warmer Regen wird in niedrigen Breiten die Temperatur nicht erhöhen, sondern etwas abkühlen; aber in höheren Breiten wird er dieselbe oft steigern und je näher den Polen, desto kräftiger. Also auch hier ist eine Anschmiegung an den Typus des Seeclimas nicht zu verkennen. Die Behandlung, wie sie durch Sartorius vorgezeichnet ist, wird somit hier zu verbessern sein.

Ueber den Zuschuss von Seite der inneren Erdwärme wird im folgenden Artikel noch besonders gesprochen werden.

An Stelle der von Sartorius sub 2 und 3 aufgenommenen Factoren eines Wärmezuwachses haben wir desshalb die constante Dunsthülle von den Tropen polwärts eingeführt und in Art. 3 darzulegen gesucht, dass für dieselbe besondere Gesetze über die Art und Weise der mit ihr verbundenen Ausgleichung und Erwärmung nicht erst zu suchen sind, dass dieselben vielmehr schon gegeben sind in den Normen des Seeclimas selbst, deren Verstärkung sie harmonisch bewirken.

Dieser Zustand der constanten Dunsthülle besteht aber heutzutage nicht mehr; sie ist unterbrochen über Land und Meer hin; die Folgeerscheinungen machen sich überall geltend; auf den Continenten selbstverständlich mehr, als auf den insularen Punkten des Oceans und in den oceanischen Räumen selbst. Das Normalclima steht desshalb von dem Typus des Climas der alten Formationen deutlich weiter ab, als das reine Seeclima der Gegenwart, obwohl auch letzteres inficirt ist und nur annähernd den Typus, nicht aber die wirkliche Beschaffenheit desselben bewahrt hat. Um wie viele Grade nun das reine Seeclima der Gegenwart und das Clima der alten geologischen Formationen in ihrer mittleren Jahreswärme ungefähr von einander abweichen, soll gesucht werden. Versuchsweise wollen wir annehmen, dass das Normalclima von dem Clima der alten Perioden um zwei Stufen abgewichen sei, das reine Seeclima der Gegenwart aber nur um eine Stufe; dann muss die Differenz zwischen Normalclima und Seeclima zu letzterem noch addirt werden, um so eventuell zu dem gesuchten Clima der alten Perioden zu gelangen; es folgt desshalb:

Tabelle II.

Breitegrad.	A. Temperatur des reinen Seeclimas der Gegen- wart nach Satorius.	B. Differenz gegenüber dem Normalclima auf Tabelle I. Colonne 4.	C. Addition von A. und B. annähernd Clima der alten Perioden.
90°	+ 0°,84 R.	+ 14°,04 R.	circa + 14° R.
80°	+ 1°,49	+ 12°,69	» + 14°
70°	+ 3°,36	+ 10°,46	» + 14°
60°	+ 6°,20	+ 7°,00	» + 14°
50°	+ 9°,68	+ 5°,38	» + 15°
45°	+ 11°,50	+ 3°,90	» + 15°,50
40°	+ 13°,33	+ 2°,43	» + 16°
30°	+ 16°,70	— 0°,10	» + 17°
20°	+ 19°,34	—	» + 19°
10°	+ 20°,89	—	» + 20°
0°	+ 21°,14	—	» + 21°

Dass bei dieser Tabelle in der letzteren Rubrik zugerundet, theils auf- theils abgerundet wurde und die Endziffer mit circa bezeichnet wurde, wird keiner Entschuldigung bedürfen. Diese Zahlenwerthe selbst sind für das Clima der alten geologischen Perioden ziemlich wohl befriedigend. Es ergibt sich für den Polarkreis die namhafte Wärme von ca. 14° R., für den 45° der Breite 15°,50 R. und für die Tropen 20° R. Bei den Tropen wurde kein Zuwachs in Anrechnung gebracht nach unserer früher schon vorgetragenen Voraussetzung, dass unter den Tropen der Zustand der Heiterkeit und Trübung des Himmels schon in den alten geologischen Perioden so gewesen sei, wie er heutzutage noch über dem tropischen Theil des atlantischen und stillen Ocean ist; man sieht jedoch, dass der Zuwachs auch ohne diese Voraussetzung sehr unwesentlich sein würde und eine namhafte Aenderung sich nicht ergeben würde. Die Gleichförmigkeit der Temperaturscala ist sodann eine recht grosse; zwischen Polarkreis und Tropen besteht nur ein Unterschied von 6—7° R.

Damit ist nun freilich noch kein Beweis geliefert, dass die Zustände des Climas sich wirklich so und nicht anders gestaltet haben. Es möchte aber bei dem Stand der climatischen Frage, wie dieselbe bisher behandelt wurde, schon genügen, zu einer Temperaturscala thatsächlich gelangt zu sein, welche erkennen lässt, dass das Clima der alten Periode und jenes der Gegenwart sich keineswegs in einem unlösbaren Widerspruch befinden. Beide lassen sich durch eine einfache und nicht unstatthafte Annahme in genügenden Einklang setzen und stehen unter sich in einer einfachen Proportion.

Doch wird es nicht überflüssig sein, sondern die Statthaftigkeit des angewandten Ver-

fahrens noch bekräftigen, wenn auch noch auf einem andern Wege, durch Vergleichung anderweitiger Zahlenreihen das gleiche Ziel angestrebt und erreicht wird.

In der Tabelle II wurden die mittleren Jahrestemperaturen des Normal- und Seeclimas zur Grundlage genommen. Der Einfluss der Continente auf die Abänderung der climatischen Zustände im Verlauf der geologischen Periode macht sich jedoch nicht blos in der Differenz (resp. Abminderung) der mittleren Jahrestemperatur geltend, sondern offenbart sich auch in der vergrösserten Oscillation der Temperaturen während der entgegengesetzten Jahreszeiten, des Sommers und des Winters. Es ist für das reine Seeclima eine ganz charakteristische Eigenschaft, dass seine Winter mild und seine Sommer kühl sind, somit seine Temperaturschwankungen gering sind, wie für das Normalclima und noch in höherem Grade für das ächte Continentalclima, dass seine Winter streng, die Sommer aber heiss sind, somit die Schwankungen gross sind. Das Clima der alten Periode weicht hierin am stärksten von dem ächten Continentalclima ab, aber auch von dem Normalclima, das Land und Meer zugleich umfasst; seine Oscillationen sind aber selbst noch geringer, als jene des heutigen reinen Seeclimas. Die vergrösserte Schwankungsamplitude ist somit ein Gradmesser der Abweichung von dem Clima der Vorzeit nicht minder, als die mittlere Jahrestemperatur; sie kann also auch zum Ausgangspunkte dienen, um zu dem Clima der alten Perioden zu gelangen. Einige Beispiele zur Veranschaulichung des Unterschieds der Oscillationen wurden schon im 1. Artikel mitgetheilt. Für die nördliche Halbkugel lässt sich jedoch die Verschiedenheit der Schwankungen der entgegengesetzten Jahreszeiten in einer vollständigen Scala mittheilen, da sowohl Dove (1. c. S. 14; Colonne 1. 3) für das Normalclima, als auch Sartorius für das reine Seeclima (1. c. S. 124 Col. 4. 5) die Temperatur des Sommers und des Winters in abgesonderten Rubriken anführen. Die Temperatur dieser entgegengesetzten Jahreszeiten zeigt die Grenzen an, innerhalb derer sich Normalclima und Seeclima gegenwärtig bewegen und die man kurz die Schwankungsamplitude nennt. In der Colonne *A* der nachstehenden Tabelle III ist deshalb aufgenommen a) die Temperatur des Sommers, b) des Winters und c) die Schwankungsamplitude desselben nach Dove bei dem Normalclima. In der Colonne *B* sind dieselben Werthe angeführt für das reine Seeclima nach Sartorius. Die Colonne *C* enthält a) die Schwankungsamplitude des Normalclimas, b) des reinen Seeclimas und c) den Mehrbetrag derselben bei dem Normalclima gegenüber dem Seeclima.

(Tabelle III siehe Seite 306.)

Bei Benützung dieser Tabelle wird von den gleichen Grundanschauungen ausgegangen, wie zuvor bei Tabelle II; insbesondere wird auch hier die versuchsweise Annahme gemacht, dass das Normalclima um zwei Stufen, das reine Seeclima der Gegenwart aber nur um eine

Tabelle III.

Breitegrade.	A. Normalclima: a) Sommertemperatur, b) Wintertemperatur, c) Amplitude der Schwankung.	B. Reines Seeclima: a) Sommertemperatur, b) Wintertemperatur, c) Amplitude der Schwankung.	C. Die Amplitude a) des Normalclimas ist grösser, als jene des reinen Seeclimas b) um c).
90°	a) — 1°,5 R. b) — 23°,9 c) 22°,4	a) + 5°,2 R. b) — 3°,5 c) 8°,7	a) 22°,4 R. b) 8°,7 c) 13°,7
80°	a) + 0°,1 b) — 21°,9 c) 22°,0	a) + 5°,8 b) — 2°,8 c) 8°,6	a) 22°,0 b) 8°,6 c) 13°,4
70°	a) + 4°,5 b) — 17°,4 c) 21°,9	a) + 7°,5 b) — 0°,7 c) 8°,2	a) 21°,9 b) 8°,2 c) 13°,7
60°	a) + 9°,5 b) — 11°,4 c) 20°,9	a) + 10°,5 b) + 2°,3 c) 8°,2	a) 20°,9 b) 8°,2 c) 12°,7
50°	a) + 12°,9 b) — 4°,5 c) 17°,4	a) + 13°,1 b) + 6°,2 c) 6°,9	a) 17°,4 b) 6°,9 c) 10°,5
40°	a) + 17°,3 b) + 4°,4 c) 12°,9	a) + 16°,3 b) + 10°,3 c) 6°,0	a) 12°,9 b) 6°,0 c) 6°,9
30°	a) + 20°,8 b) + 12°,2 c) 8°,6	a) + 19°,1 b) + 14°,2 c) 4°,9	a) 8°,6 b) 4°,9 c) 3°,7
20°	a) + 22°,0 b) + 17°,7 c) 4°,3	a) + 21°,2 b) + 17°,4 c) 3°,8	a) 4°,3 b) 3°,8 c) 0°,5
10°	a) + 21°,7 b) + 20°,5 c) 1°,2	a) + 22°,1 b) + 19°,6 c) 2°,5	a) 1°,2 b) 2°,5 c) 1°,3
0°	a) + 20°,9 b) + 21°,2 c) 0°,3	a) + 21°,7 b) + 20°,5 c) 1°,2	a) 0°,3 b) 1°,2 c) 0°,9

Stufe sich von dem Clima der alten Perioden entfernt habe. Mit andern Worten wird angenommen, dass mit dem Auftreten der Continente und der hierdurch vergrösserten Schwankungsamplitude eine Temperaturabnahme zwar sowohl bei dem Seeclima, als auch bei dem Normal-

clima stattgefunden habe, aber bei dem Normalclima in doppelt so starkem Betrag, als bei dem Seeclima. Es ist desshalb zu der Temperatur des reinen Seeclimas noch der Mehrbetrag der Schwankungsamplitude des Normalclimas gegenüber dem Seeclima zu addiren, um eventuell zu dem Clima der alten Periode zu gelangen, wie schon oben und in Art. 3 näher dargelegt wurde. Hiernach ergibt sich

Tabelle IV.

Breitegrad.	A. Seeclima nach Sartorius.	B. Mehrbetrag der Schwankungsampli- tude beim Normalclima.	C. Summa von A. B.
90°	0°,84 R.	13°,70 R.	14°,54 R.
80°	1°,49	13°,40	14°,89
70°	3°,36	13°,70	17°,06
60°	6°,20	12°,70	18°,90
50°	9°,28	10°,50	19°,78
40°	13°,33	6°,90	20°,23
30°	16°,70	3°,70	20°,40
20°	19°,34	0°,50	} c. 21°
10°	20°,89	— 1°,30	
0°	21°,14	— 0°,90	

Bei genauerer Betrachtung der Tabellen III und IV und Vergleichung derselben mit Tabelle II machen sich einige Punkte bemerklich, die einer einlässlicheren Besprechung bedürfen.

Zunächst ist zu bemerken, dass die Zahlen der Tabelle II und IV nicht ganz gleich sein können; denn sie sind der Ausdruck für Verhältnisse, die wohl unter sich nahe verwandt sind und in inniger Verbindung stehen, aber doch keineswegs zusammenfallen. Wenn letzteres der Fall wäre, so hätte es ja auch gar keinen sachlichen Werth, dieselben abgesondert zu behandeln; der Unterschied besteht vorzüglich in nachstehendem Umstande. In Tabelle II ist die mittlere Jahreswärme zu Grunde gelegt, die das Resultat sämtlicher Tage des Jahres oder wenigstens aller vier Jahreszeiten ist. Die Tabelle IV legt die Amplitude der Schwankungen zwischen den zwei entgegengesetzten Jahreszeiten, Sommer und Winter oder zwischen dem kältesten und wärmsten Monat des Jahres zu Grund. Es sind hier zwei verschiedene, wenn auch verwandte Seiten des Gegenstandes in Betracht gezogen, die jedoch aus dem Grunde mit einander in Verbindung gebracht werden können, weil beide mit dem Character des Climas selbst innig verknüpft sind.

Wenn man nun mit Rücksichtnahme darauf die Tabellen II und IV vergleicht und besonders die Colonne C in beiden Tabellen ins Auge fasst, so ist nicht zu verkennen, dass der

allgemeine Typus der Vertheilung der Wärme, der bei einer Warmwasserheizung unter guter Umhüllung zu erwarten ist, auch hier in seinen charakteristischen Zügen sich herausstellt. Die Temperatur der ganzen Oberfläche der Erde ist recht gleichmässig, schwankt nur in den sehr mässigen Grenzen von $+ 14^{\circ}$ R bis 21° R; es ist somit auch nach diesem Verfahren in den mittleren und hohen Breiten eine recht ansehnliche Wärme vorhanden und die Uebereinstimmung mit Tabelle II ist besonders in den Zahlen für die Tropen und für die höchsten Breiten ganz zutreffend. Auffallend aber sind die niedrigen Wintertemperaturen, die bei dem Normalclima (Tabelle III Colonne A) theilweise, namentlich auch noch in mittleren Breiten zu verzeichnen waren, ungeachtet bei denselben eine Reduction auf den Meeresspiegel vollzogen ist. Beispielsweise sind hervorzuheben bei dem fünfzigsten Grad n. B. eine Wintertemperatur von $- 4,95$ R. und bei dem 60° mit $- 11,04$ R., wobei die entsprechenden Sommertemperaturen doch ziemlich hoch sind.

Hiedurch wird offenbar die Ziffer der Schwankungsamplitude sehr gross, was auf das Resultat bei der Summirung der Temperatur des Seeclimas und des Mehrbetrags der Schwankungsamplitude des Normalclimas (Tabelle IV. Colonne C.) einen fühlbaren Einfluss ausüben muss.

Der Grund dieser auffallenden Temperaturdifferenz ist aber gar nicht zu verkennen. Die grossen Landmassen von Asien und des nördlichen America bewirken in einem breiten Gürtel ein scharf ausgeprägtes continentales Clima mit sehr kalten Wintern und warmen Sommern und rufen dadurch eine sehr extreme Amplitude der Temperaturschwankung hervor, die selbst noch bei den Mittelwerthen des Normalclimas in den betreffenden Parallelkreisen sich recht fühlbar macht. Dass wirklich hier eine Abnormität vorhanden sei, die in nichts Anderem ihren Grund haben kann, lässt sich durch solche Localitäten, die kein extremes continentales Clima haben, klar machen. Das Clima von Stuttgart,*) welches unter $48^{\circ} 47$ n. B. liegt, somit dem 50° so nahe steht, dass es ohne Gefahr mit demselben verglichen werden kann, weist eine Sommertemperatur von $18^{\circ},6$ C. und dagegen eine Wintertemperatur von $+ 1^{\circ},0$ C. auf, wobei keine Reduction auf das Niveau des Meeresspiegels vorgenommen wurde. Stuttgart liegt 268 m über dem Meeresspiegel. Die Schwankungsamplitude ist somit $17^{\circ},6$ C. = $14^{\circ},0$ R. und stimmt damit das Mittel von 22 Stationen in Württemberg (l. c. S. 231) fast genau überein.

Das Normalclima des gesammten 50° aber hat eine Oscillation von $17^{\circ},4$ R, somit um $3^{\circ},4$ R mehr, als Stuttgart und die sämmtlichen Stationen in Württemberg. Diese bedeutende Erweiterung ist offenbar auf Rechnung des excessiven Klimas jener Gegenden zu schreiben,

*) Das Königreich Württemberg, herausgegeben vom statistisch-topographischen Bureau 1882.

welche unter dem gleichen Breitengrad in den Continenten von Asien und Nordamerika liegen; diese machen die Schwankungsamplitude des Normalclimas des ganzen Parallels erheblich zu gross. Wenn es nun als selbstverständlich angesehen werden darf, dass letztere abnorm stark ist, so muss es gestattet, wenn nicht geboten sein, eine Abminderung derselben eintreten zu lassen. Diese Abminderung wird sich aber auf den ganzen Gürtel zu erstrecken haben, in welchem sich die ausgedehnten Continente von Asien und Nordamerika befinden, somit vom 70° n. B. bis zum 30° n. B. In der That lässt auch die Colonne *C* der Tabelle IV vom 70° an abwärts einen auffallenden Sprung in der Temperaturzunahme erkennen, der sich auch in mittleren und niedrigeren Breiten, trotz der gesetzlichen allmählichen Abnahme, noch implicite forterhält. Als Betrag der Abminderung möchte sich der bei Württemberg ermittelte Werth mit 3°,4 R an die Hand geben, obwohl zu vermuthen ist, dass derselbe für die niedrigeren Breiten, wo die Oseillationen an sich geringer werden, schon etwas zu hoch sein könnte. Es wird deshalb die Tabelle V entworfen, in welcher die Werthe der Colonne *B*, der Tabelle IV gegenüber, vom 70°—30° n. B. um den Werth von 3°,4 R vermindert sind:

Tabelle V.

Breitengrad.	A. Seeclima.	B. Corrigirter Mehrbetrag der Schwankungen beim Normalclima.	C. Summe von A. und B. annähernd Clima der alten Formationen.
90°	0°,84 R.	13°,70 R.	circa 14° R.
80°	1°,49	13°,40	» 14°
70°	3°,36	10°,30	» 14°
60°	6°,20	9°,30	» 15°
50°	9°,28	7°,10	» 16°
40°	13°,33	3°,50	» 16°
30°	16°,70	0°,30	» 17°
20°	19°,34	—	» 19°
10°	20°,89	—	» 20°
0°	21°,14	—	» 21°

Hierdurch wird nun, wie die Colonne *C* zeigt, eine climatische Scala für die Temperatur gewonnen, welche wenigstens, was den gesammten Typus, die Abstufung der Wärme und die Gleichförmigkeit und den allmählichen Uebergang der Zonen anbelangt, hinter den Anforderungen der Paläontologie an das Clima der alten Formationen, kaum zurückbleiben dürfte und mit Tabelle II gut übereinstimmt.

Dieses Resultat ergab sich einfach, wie auch bei der Tabelle II, durch die Annahme des Principis der Warmwasserheizung unter einem Schutz vor Abkühlung durch eine constante

Bewölkung von den Tropen an polwärts. Hierdurch wird, wie in Art. 3 ausgeführt wurde, sowohl die Schwankungsamplitude eingeengt, als auch die Wärme des von den Tropen auszufließenden Wassers zusammengehalten und deshalb die Temperatur der gesammten Oberfläche, auch der zerstreuten Inseln, entsprechend erhöht. Incongruenzen in einem breiten Gürtel, welche die Anwendbarkeit dieser Methode zu beeinträchtigen schienen, liessen sich erklären und möchten schliesslich mehr zur Consolidirung als zur Erschütterung des Verfahrens dienen. Dass auch hier Zurundungen wie bei Tabelle II vorgenommen wurden, wird keiner besondern Entschuldigung bedürfen.

Eine genauere Betrachtung der Temperatureurven, wie sie durch den von Secchi erfundenen Apparat hervorgebracht werden, kann ebenfalls, wenn von wesentlich gleichen Grundsätzen bei Verwerthung derselben zum Zwecke der Temperaturberechnungen ausgegangen wird, zu einem gut übereinstimmenden Resultat führen. Jene Temperatureurven geben jedenfalls eine klare und bestimmte Vorstellung davon, wie die Schwankungen der Temperatur durch die Heiterkeit oder Trübung des Himmels wesentlich beeinflusst werden.¹⁾ Man müsste sich jedoch im Besitz einer grösseren Anzahl von Jahrgängen von Curven befinden und zudem solche Temperatureurven benutzen können, die nicht blos an Orten in mittleren, sondern auch in sehr hohen und niedrigen Breiten, aufgenommen sind, um zu einer genügend gesicherten Grundlage der Operation zu gelangen; das wird jedoch schwer, vielleicht unmöglich zu erreichen sein. Der oben von uns eingeschlagene Weg, bei welchem die literarischen Angaben bewährter Meteorologen zu Grund gelegt wurden, wird daher ohne Zweifel grössere Sicherheit bieten. Es ist hier nur zu bemerken, dass die Verwerthung jener Temperatureurven, die im Jahre 1868 in Stuttgart beobachtet wurden, in der That den Massstab direct an die Hand gab, in welchem Betrag die Temperatur des reinen Seeclimas der Gegenwart zu verstärken sei, um zu dem Klima der alten geologischen Formationen zu gelangen (cf. Württ. naturwiss. Jahreshfte 1881, S. 72). Correcturen, die durch die Fortschritte der beobachtenden Meteorologie hierbei eintreten werden, sollten in Bezug auf die Mittelwerthe, die hier überall in Anwendung kommen, keine auffallende und belangreiche Aenderung hervorrufen können.

5. Artikel.

Möglichkeit einer weiteren Steigerung der Wärme.

Der Betrag von 14° R. mittlerer Jahreswärme für die hohen und höchsten Breiten möchte ganz genügen, um die Existenz von Baumfarren und andern Gewächsen daselbst zu begreifen. Dieselben verlangen mehr ein sehr gleichförmiges als ein sehr warmes Klima, wie das Vor-

¹⁾ Vergleiche: Württ. naturwiss. Jahreshfte 1881. S. 68 und folgende.

kommen derselben besonders in Neuseeland beweist. Aber es ist nicht in Abrede zu ziehen, dass die in der Silurzeit und überhaupt in den ältesten Perioden vorkommenden riffbauenden Corallen bis hinauf in das Grinell-Land bei fast 82° n. Br. (cf. Heer: Polarflora V. S. 18) eine etwas höhere Temperatur beanspruchen. Es handelt sich deshalb darum, ob die bisher gefundenen Ziffern sich nicht für die alten Perioden noch um einige Grade steigern lassen. Ein ganz nahe liegendes Ansmkunftsmittel ist hier der Beitrag der innern Erdwärme, der in der That für die alten Perioden der Erde nicht wird ganz beseitigt werden dürfen.

Sartorius von Waltershausen berechnet (l. c. S. 155) den Zuschuss der inneren Erdwärme für die sulirische Zeit auf 3°,200 R.; für die devonische auf 2°,190 R. und für die Steinkohlenformation auf 1°,242 R.; somit im Durchschnitt auf c. 2° R.

Wenn jedoch die Ziffern betrachtet werden, die derselbe für die Mächtigkeit der Formationen zu Grund legt ¹⁾, so möchte man fast glauben, dass Sartorius einen thunlichst geringen Werth derselben unterlegt habe und es wäre somit möglich, dass selbst diese bescheidenen Zahlen immerhin noch etwas zu hoch gegriffen wären.

Ein anderes Hilfsmittel, um die Ziffer des Wärmebetrags noch zu steigern, ist die Annahme einer voluminöseren, daher auch schwereren und dichteren luftförmigen Hülle des Planeten (die mit Bewölkung nicht zu verwechseln ist), in den alten Perioden. Wenn man bedenkt, wie gross die Masse der Kohlensäure und des Kohlenstoffes ist, die in den Schichten der Erde niedergelegt sind, so kann man nicht umhin einen grösseren Gehalt von Kohlensäure in der Luft während den alten Perioden anzuerkennen. Wenn die Atmosphäre durch ein grösseres Quantum beigemengter Kohlensäure höher und schwerer war als hentzutage, so war sie auch in jenen Schichten, welche der Erdoberfläche zunächst sich befanden, einer intensiveren Erwärmung fähig. Man braucht sich die Quantität der Kohlensäure durchaus nicht allzu gross zu denken, um auf solche Weise wenigstens noch um ein paar Grade die Temperatur der alten Perioden zu steigern. Es mag jedoch hier ein gewisser Spielraum offen behalten bleiben, um so mehr als das Wärmebedürfniss der Thiere und Pflanzen der ältesten Aera doch nur im Allgemeinen, aber nicht mit irgend welcher Genauigkeit geschätzt werden kann. Immerhin sieht man die Möglichkeit, die Temperatur der Urzeiten, ohne dass eine bestimmte Endziffer festgesetzt wird, soweit zu steigern, dass selbst innerhalb des Polarkreises die Corallen ihre Existenzbedingungen finden konnten.

Allein wir erklären ausdrücklich, dass wir die beiden oben angeführten Gesichtspunkte nur insoweit herbeiziehen, als dieselben dienlich sind, den Wärmebetrag um einige Grade

¹⁾ l. c. S. 154; andererseits wären zu vergleichen die Angaben bei Heer: Urvwelt 2. Auflage. S. 646.

zu steigern. Principiell, d. h. zur selbständigen Erklärung der climatischen Verhältnisse der Urzeiten sind dieselben völlig unbrauchbar. Abgesehen davon, dass es durchaus nicht angeht, die innere Erdwärme oder die Dichtigkeit der Atmosphäre nach Belieben bis zu den höchsten Beträgen zu steigern, so sind diese beiden Hypothesen ihrer Natur nach nicht geeignet, den thatsächlichen climatischen Charakter der Urzeiten zu erklären. Man sieht ohne weiteren Beweis ein, dass die innere Erdwärme und die schwere Atmosphäre in allen Breitegraden die gleiche Wirkung haben müssten. Würde aber durch die innere Erdwärme beispielsweise die Temperatur der Pole um 20° R. erhöht werden können, so würde auch die Temperatur der Tropen und überhaupt aller Breiten durch die nämliche Ursache um den gleichen Betrag erhöht. Aber es verbliebe immerhin jene Ungleichförmigkeit bestehen, welche in verschiedenen geographischen Breiten durch die Sonnenstrahlen hervorgerufen wird. Die Temperatur sowohl des Aequators, als auch der Pole, überhaupt aller Breitegrade, würde zwar um 20° erhöht, aber hierdurch würde keine Gleichförmigkeit des Klimas hergestellt, was doch eine ganz charakteristische Eigenschaft der alten Erdperioden ist. Wenn man Gleiches zu Ungleichem addirt, so kommt wieder Ungleiches heraus. Dasselbe ist zu sagen von der schweren Atmosphäre; die Ungleichförmigkeit der Temperatur, die in verschiedenen Breiten durch die Sonne hervorgerufen wird, bliebe vor wie nach ungemindert bestehen, nur würde die Wärme überall um einige Grade, oder, wenn man will, viele Grade gesteigert. Um aber das auffallend gleichförmige Klima der alten Perioden, in welchem die zonenweisen Unterschiede verwischt sind, zu erklären, bedarf man eines Factors, der im Stande ist, die Wirkung der in höheren Breiten immer schiefer auffallenden und deshalb immer schwächer wirkenden Sonnenstrahlen bis auf einen gewissen Grad zu ergänzen und sich so zu sagen an ihre Stelle zu setzen. Ein solches physicalisches Agens ist das Wasser des Oceans und man darf sagen nur dieses. Dasselbe erwärmt sich unter den Tropen und ist nun durch seine hohe specifische Wärme im Stande, seine Temperatur mit ansehnlicher Zähigkeit zu bewahren und somit der Oberfläche der Erde auch in hohen Breiten eine Wärme zu verschaffen, welche den Abmangel der Sonnenwärme ergänzt, um so mehr, je vollständiger der Ocean selbst in höheren Breiten vor Ausstrahlung durch Bewölkung geschützt ist.

Auch die meisten andern Hypothesen scheitern vorzüglich an der nämlichen Klippe. Die Annahme, dass das gesammte Sonnensystem zu verschiedenen Zeiten durch verschieden warme Regionen des Weltraums sich bewege, leidet an dem gleichen Missstand. Diese, die ganze Oberfläche des Planeten beschlagende periodisch wärmere oder kältere Temperatur addirt sich zu jener Temperatur, welche durch die Sonnenbescheinung in den verschiedenen Zonen sehr

verschieden sich gestaltet; aber eben deshalb vermag sie die Ungleichförmigkeit nicht zu beseitigen. Es bestünden in dem angenommenen Falle zwei Wärmequellen, wovon die eine (Welt-raum) zu verschiedenen Zeiten verschiedene Temperaturen mittheilt, die jedoch zur gleichen Zeit für die ganze Oberfläche gleich bleibt. Die andere aber (Sonne) ruft jeder Zeit ungleichförmige Temperaturen auf der Erdoberfläche hervor. Durch den Hinzutritt dieser letzteren Wärmequelle wird die Gleichmässigkeit der ersteren wieder aufgehoben. Nicht minder ergibt sich die Unzureichheit der schon an sich sehr gewagten Annahme einer Veränderung in der Stellung der Erdachse. Würde man auch zugestehen, dass vor alten Zeiten der Aequator in der Nähe von Spitzbergen verlaufen sein könnte, und damit die dortige Fauna und Flora der Steinkohlenzeit erklären, so müsste doch nothwendig irgendwo zu jener Zeit auch eine gemässigte und kalte Zone bestanden haben. Aber hievon wissen die Paläontologen nichts. Selbst die um mehr als 30 Erdgrade von dort entfernten Steinkohlenschichten in Deutschland etc. sind in sehr vielen Arten übereinstimmend und der gesammte Typus der organischen Wesen identisch. Die Theorie ferner, welche die Schwankungen und Ortsveränderungen des Perihels und Aphels zu ihrer Grundlage nimmt, ist nicht blos nicht geeignet eine grössere Gleichförmigkeit des tellurischen Klimas zu motiviren, sondern führt zu noch grösseren Ungleichförmigkeiten. Diese Theorie wurde in der That auch hauptsächlich ausgebildet, um die Contrasten der Temperatur zwischen Molassezeit und Eiszeit zu erklären.

Nur die, hauptsächlich von Lyell vertretene, Ansicht einer andern Vertheilung von Land und Wasser vermag eine annähernd gleichförmigere Temperatur zu begründen. Allein sie öffnet offenbar der Willkür einen sehr weiten Spielraum und schliesslich ist dieselbe doch ausser Stand eine noch grössere Gleichförmigkeit zu produciren, als sie das reine Seeclima der Gegenwart (Sartorius) darbietet. Offenbar besteht die höchst mögliche Stufe der Gleichförmigkeit, die auf diesem Wege angestrebt und erreicht werden kann, darin, dass das feste Land, als die unzweifelhafte Ursache der excessiven Temperaturen nicht blos anders vertheilt, sondern überhaupt eliminirt wird. Man sieht aber aus Tabelle I, dass selbst eine solche Temperatur, sowohl was den Grad der Wärme als auch der Gleichförmigkeit anbelangt, weit hinter den Anforderungen der Paläontologen zurückbleibt.

Die Auffassung aber, welche vorzuführen und zu begründen in Obigem gesucht wurde empfiehlt sich dadurch, dass sie einerseits die Erklärung einer hohen Temperatur in den hohen Breiten an die Hand gibt, und auch andererseits zugleich die sehr grosse Gleichförmigkeit des Klimas in den verschiedensten Breiten erklärt. Nachdem eine solche Grundlage gewonnen ist, leistet die Annahme eines bescheidenen Wärmezuschusses durch die innere Erdwärme und durch

eine schwere Atmosphäre gute Dienste, weil man derselben nur soweit bedarf, um die Temperatur noch um einige Grade über alle Breiten hin zu erhöhen. Wenn somit beispielsweise in den höchsten Breiten statt einer Temperatur von 14° R. eine solche von 17° R. gewonnen wird; oder in mittleren Breiten statt 16° R. der Betrag auf 19° R. und unter den Tropen statt 20° R. auf 23° R. sich steigert, so wird hierdurch den Anforderungen der Paläontologen nur um so besser entsprochen und die Gleichförmigkeit des Climas hierdurch keineswegs alterirt.

Dass dieser Zuwachs an Wärme nur für die alten geologischen Perioden in Betracht und Geltung komme, ergibt sich aus einer einfachen Betrachtung.

Mit zunehmender Dicke der festen Erdrinde in den jüngeren Perioden schwächt sich die Wirkung der inneren Erdwärme von selbst bis zur völligen Unbedeutendheit ab. In den jüngeren Perioden fällt sodann auch die Wirkung der schwereren Atmosphäre weg, weil die ehemals der Luft beigemischte Kohlensäure durch die später entstandenen Schichten gebunden wurde.

Bei der grossen Gleichförmigkeit der Temperatur in allen Zonen mussten auch die Schwankungen derselben in den verschiedenen Jahreszeiten ganz in den Hintergrund treten. Nicht so fast der Stand der Sonne ist es, der das Clima der alten Perioden in den mittleren und höhern Breiten beherrschte, sondern die Anwesenheit und Temperatur der in ungeschwächter Kraft wirkenden Gewässer des Oceans. Die warmen Wasser desselben, durch eine constante Wolkenhülle vor den Wirkungen der Ausstrahlung geschützt, verliehen der ganzen Erdoberfläche ein ebenso warmes als gleichförmiges Clima. Innere Erdwärme und dichtere Atmosphäre wirkten ihrerseits, jedoch nur als untergeordnete Factoren, in der gleichen Richtung mit, sofern sie die Wärme um einige Grade steigerten, ohne dadurch an der Gleichförmigkeit des Climas etwas zu ändern.

6. Artikel.

Rückblick auf die climatischen Verhältnisse der alten geologischen Perioden.

Das reine Seeclima der Gegenwart trägt, gegenüber dem Normalclima der gegenwärtigen Erdperiode nicht bloß einzelne deutliche Züge einer Aehnlichkeit mit dem Clima der alten geologischen Perioden an sich, sondern der gesammte Charakter beider trifft in überraschender Weise zusammen. Beide stimmen typisch zusammen in der grössern Gleichförmigkeit, in der grössern Wärme und besonders in der eigenthümlichen Verthei-

lung der Wärme. Während unter den Tropen die gleichen oder wenigstens nahezu gleichen Wärmeverhältnisse bestehen, gibt sich sowohl bei dem reinen Seeclima der Gegenwart gegenüber dem Normalclima, wie auch bei dem Clima der alten Perioden in den mittlern und besonders höhern Breiten ein relativ stetig zunehmender ¹⁾ Wärmebetrag zu erkennen, wodurch bei beiden eine beträchtlich grössere Gleichförmigkeit der Temperatur in den verschiedenen Zonen hervorgebracht wird. Diese sämtlichen Eigenschaften wurden als Effect einer natürlichen Warmwasserheizung bezeichnet und nachgewiesen. Sobald man einmal durch tabellarische Gegenüberstellung von dieser gemeinsamen climatischen Physiognomie sich volle Klarheit verschafft hat, so drängt sich die zuversichtliche Hoffnung auf, dass in dem reinen Seeclima die feste Basis und der Schlüssel zu finden seien, von wo aus es gelingen werde, zu dem räthselhaften Clima der alten Perioden aufzusteigen.

Diese Ueberzeugung wird um so lebhafter, da ja in der That während der alten Perioden das oceanische Clima nahezu vollständig im Besitz sich befinden musste. Es handelt sich bloß darum, einen Factor ausfindig zu machen, durch welchen die in dem reinen Seeclima zu Tag tretenden Züge noch verstärkt werden. Durch den Umstand, dass die Wärmeziffern des reinen Seeclima der Gegenwart dem Grade nach unzureichend sind, um die Erscheinungen der fossilen Organismen der alten Formationen zu begreifen, darf man sich nicht abschrecken lassen, auf diesem Wege voranzugehen und auf dieser soliden Basis fortzubauen.

Das reine Seeclima der Gegenwart ist ja selbst nur eine Abstraction, und zwar eine unvollständige, die sich zunächst nur die Aufgabe stellt, die unmittelbaren sozusagen greifbaren Einflüsse des festen Landes auf die Temperatur der Erdoberfläche zu eliminiren. Letzteres ist allerdings eine sehr wichtige Seite, aber es ist doch nicht der einzige Punkt, wodurch sich das reine Seeclima und das Normalclima unterscheiden. In jenen geologischen Zeiträumen, da das Seeclima nicht eine Abstraction war, sondern in dem thatsächlichen Besitz sich befand, mussten durch seinen gewaltigen Einfluss auch noch anderweitige Wirkungen hervorgerufen werden, namentlich auch auf den Zustand der Atmosphäre. Die trockenen Continente, die heutzutage ungefähr ein Drittel der Erdoberfläche einnehmen, beeinflussen ihrerseits die Beschaffenheit der Atmosphäre, besonders ihren Wassergehalt. Derselbe ist von dem Umfang der verdunstenden nassen Oberfläche abhängig, ist deshalb in der gegenwärtigen Periode kleiner, als in den alten Perioden. Die Anwesenheit grosser trockener Erdtheile bringt sodann durch die trockenen Luftströmungen Wirkungen in der Atmosphäre

¹⁾ s. Tabelle I.

hervor, die denen des Oceans theilweise geradezu entgegenarbeiten und dieselben zum Theil aufheben. In der Hauptsache wird die Behauptung keinem Anstand unterliegen, dass die continentale oder vielmehr gemischte Beschaffenheit der Oberfläche der Erde auch ähnliche, gemischte Zustände der Atmosphäre hervorrufe, dass wechselvolle und gemischte Zustände der Trübung und Heiterkeit in ihrem Gefolg auftreten. Andererseits ist nicht zu beanstanden, dass eine rein oceanische Beschaffenheit der Erdoberfläche durch ihre eigene Gleichförmigkeit, auch gleichförmige Zustände der Atmosphäre begünstigt, welche aber mehr zu einer constanten Trübheit, als zur wolkenlosen Heiterkeit des Himmels sich hinneigen mussten. ¹⁾

Wie man sich nun diese Zustände näher vorstellen soll, das ist Sache der Hypothese; aber die Hypothese hat hier eine Berechtigung, vorausgesetzt, dass dieselbe sich innerhalb der Schranken der physicalischen Möglichkeit bewegt. Willkommen ist, dass aus den astronomischen Beobachtungen an solchen Planeten, welche ohne Zweifel in einem jugendlicheren Stadium ihrer geologischen Entwicklung sich befinden, einige Anhaltspunkte sich ergeben, wie man sich die Zustände unseres Planeten in seinen früheren Perioden vorstellen soll. Ferner ist willkommen, dass auch die Beschaffenheit der Organismen der alten Perioden, der Pflanzen insbesondere, einigen Aufschluss darüber zu geben geeignet sind. Ein sumpfiger Boden, trüber Himmel, beträchtliche Regenmengen, Gleichförmigkeit der Temperatur entsprechen ihren Existenzbedingungen am besten ²⁾.

Die Annahme einer constanten Wolkenhülle von den Wendekreisen polwärts ist nun ganz geeignet, solche Dienste zu leisten, dass das oceanische Clima in allen seinen Eigenschaften zu verstärkter Geltung gelangt. ³⁾ Die meteorologischen Aufzeichnungen sodann geben die Mittel an die Hand, um den Betrag ⁴⁾ der Verstärkung wenigstens annähernd zu eruiren. Auf diesem Wege ergeben sich als Mittelzahlen der Temperatur in den alten Perioden für die polaren Gegenden c. + 14° R., für die mittleren Breiten, genauer für den 45. Breitengrad, c. + 16° R. und für die Tropen c. + 20° R. (Tabelle II und Tabelle V). Hierdurch möchte schon die hauptsächlichste Kluft zwischen dem Clima der Urzeiten und dem der Gegenwart als ausgefüllt betrachtet werden können. Da jedoch ein Zuschuss der innern Erdwärme und eine Temperaturerhöhung durch die grössere Dichtigkeit der Atmosphäre in den alten Erdperioden nicht ganz von der Hand gewiesen werden können, auch einige Orga-

¹⁾ Artikel 1.

²⁾ Artikel 2.

³⁾ Artikel 3.

⁴⁾ Artikel 4.

nismen der alten geologischen Perioden eine noch grössere Wärme verlangen, so lässt sich mit Vorbehalt eines gewissen Spielraums, eine Steigerung um c. 3° R., somit für die polaren Gegenden eine Temperatur von c. $+ 17^{\circ}$ R., für die mittleren Breiten von c. $+ 19^{\circ}$ R. und für die Tropen von c. $+ 23^{\circ}$ R. ¹⁾ motiviren. Das ist nun eine Temperaturscala, welche den Anforderungen der Paläontologen an das Clima der Urzeiten entsprechen dürfte, sowohl was den Grad der Wärme anbelangt, als auch in Betreff der Gleichförmigkeit der Temperatur innerhalb der verschiedenen Zonen. — Eine nicht unbeträchtliche Schwierigkeit dürfen wir jedoch nicht mit Stillschweigen übergehen.

Für das Gedeihen der Organismen, der Pflanzen insbesondere, ist nicht blos ein gewisses Quantum von Wärme erforderlich, sondern auch Licht. Es wurde schon oben darauf hingewiesen, dass Farne und Lycopodien das directe Sonnenlicht leichter entbehren können, dass ihnen schattige Standorte gut zusagen. Allein in den hohen und höchsten Breiten handelt es sich nicht blos um abgeschwächtes Licht, sondern um die langen Winternächte, in welchen das Tageslicht ganz fehlt. Die Tertiärzeit bietet in dieser Beziehung schon keine grossen Schwierigkeiten mehr dar. Die zur Tertiärzeit in Spitzbergen lebenden Pflanzen hatten nach Heer sämmtlich fallendes Laub; sie waren somit auf einen Stillstand der Vegetation während der Winternacht eingerichtet. Allein das Gleiche kann schon von den Pflanzen der Kreideformation in Grönland und Spitzbergen nicht mehr gesagt werden, so wenig als von den Steinkohlenpflanzen daselbst.

Ob nun die immergrünen Pflanzen dieser Perioden die lange Winternacht ertragen konnten?

Wir beschränken uns darauf, das zu wiederholen, was Heer in seiner Polarflora I. S. 73 darüber sagt: »Es ist bekannt, dass in Petersburg zahlreiche Pflanzen südlicher Zonen in Gewächshäusern überwintert werden, welche während langer Zeit sehr wenig Licht erhalten; wie denn auch in unsern Breiten die Gewächshäuser wochenlang wegen der strengen Kälte zugedeckt werden müssen. Allerdings leiden darunter die Pflanzen, diejenigen indessen am wenigsten, welche Winterruhe halten. Eine solche Winterruhe halten alle Pflanzen mit fallendem Laub, aber auch manche wintergrüne Bäume, so die Nadelhölzer und unsere Alpenrosen, welche letztere in den Alpen während mehrerer Monate von einem Schneemantel bedeckt, also dem Licht unzugänglich sind.«

Auch Arago ²⁾ hebt hervor, dass wegen der Refraction des Lichts der Sonne und weil erst völlige Finsterniss eintritt, wenn die Sonne 18° unter dem Horizont steht, die Polarnächte

¹⁾ Artikel 5.

²⁾ Populäre Astronomie IV, S. 486.

Abhandl. d. Seckenb. naturf. Ges. Bd. XIII.

reducirt werden und bemerkt, dass »in den Polargegenden der Tag nur selten absolut aufhört und die vollständige Nacht von den Beobachtern daselbst fast nicht gekannt ist.«

Das Hinderniss wegen Mangels an Licht darf somit als ein absolutes Hinderniss des Gedeihens der Vegetation in hohen Breiten nicht aufgefasst werden. Ob diese Schwierigkeit durch Annahme der Blandet'schen Hypothese (Mercur-Sonne) besser und ganz beseitigt werde, ist sehr zweifelhaft, wenn für den angenommenen damaligen Zustand der Sonne der Maassstab der Leuchtkraft des Zodiacallichts in Anwendung gebracht werden darf (cf. Einleitung).

Zweites Capitel.

Erklärung der climatischen Verhältnisse der jüngern geologischen Perioden, besonders der Miocänformation.

1. Artikel.

Verhältniss des Tertiärclimas zu dem der vorhergehenden Perioden.

Wie schon in der Einleitung erwähnt wurde, bieten jene geologischen Perioden, welche auf die Steinkohlenformation zunächst folgen, keine hervorragenden Unterschiede der climatischen Verhältnisse gegenüber den vorangegangenen Perioden dar. Die Pflanzen und Thiere treten zwar nach und nach vom Schauplatze ab und andere mehr oder weniger nahe stehende Formen treten dafür auf; aber die climatischen Verhältnisse bleiben sich in der Hauptsache gleich, d. h. die zonenweisen Unterschiede treten auch hier noch nicht hervor, obwohl der Charakter der Pflanzen nach Graf Saporta grössere Wärme und Trockenheit anzeigt.

Es folgt daraus, dass die tellurischen Verhältnisse, nämlich oceanische Beschaffenheit der Erdoberfläche und damit zusammenhängend constante Bewölkung nicht, oder besser, so wenig sich geändert haben, dass die unbedeutenden Aenderungen keinen deutlich wahrnehmbaren Einfluss auf das Klima ausüben konnten. Erst mit der obern Kreideformation tritt, nicht ganz unerwartet, sofern auch der schon in der untern Kreide eine erste Spur (Grönland) sich eingestellt hatte, eine grössere Zahl der dicotyledonen Pflanzen hervor und zugleich damit ein bemerkbarer Unterschied in der Temperatur der verschiedenen Zonen. Aber erst in der tertiären und zwar miocänen Formation sind namhafte climatische Unterschiede nachweisbar und

zugleich ist jetzt die Flora und beziehungsweise Fauna den lebenden Gattungen sehr nahe stehend, zum grossen Theil mit denselben identisch, so dass eine Vergleichung mit den climatischen Ansprüchen der Organismen der Jetztwelt sich durchführen lässt.

Unterdessen sind aber auch in den tellurischen Verhältnissen nachweisbar Aenderungen vor sich gegangen, durch welche der gesammte Charakter der Erdoberfläche ein ganz anderes Gepräge erhalten hat.

Schon zur Zeit der eocänen Formation hat sich ausgebreitetes Land in beiden Halbkugeln gebildet. Zeuge davon sind die zahlreichen Landsäugethiere, hauptsächlich Pachydermen. Dazu lichtliebende Landpflanzen mit der Organisation der Dicotyledonen und Monocotyledonen.

Noch besser gekannt ist die miocäne Formation, die in Europa, Asien und America, unter den Polen, in mittleren Breiten und unter dem Aequator zahlreiche Schichten mit versteinerten Organismen zurückgelassen hat.

Pachydermen sind überall verbreitet, dazu Wiederkäuer und Nager etc.; auch die Ausbeute fossiler miocäner landbewohnender Pflanzen vermehrt sich gewaltig.

Das sind lauter sprechende Zeugnisse, dass die tellurischen Verhältnisse selbst, gegenüber den alten Perioden, sich beträchtlich geändert haben müssen. Jene fast einförmige Gleichförmigkeit der tellurischen Verhältnisse und damit des Klimas und auch der Organismen, wie sie in den alten Perioden herrschend war, war nicht dazu bestimmt, dass sie immer und zu allen Zeiten bestehen sollte.

Die Anlage zu Veränderungen in all' diesen Beziehungen war von Anfang an vorhanden, nur brauchte es Zeit, bis dieselben sich zur Geltung zu bringen vermochten.

Diese Anlage können wir nach Bronn ¹⁾ als die terripetale Entwicklung der Erde kurz bezeichnen.

Die Bewegung der oceanischen Gewässer griff da und dort die starr gewordene Erdrinde an und schüttete an andern Stellen Sedimente auf. Stellenweise erhob sich Land über den Meeresspiegel, wenn auch nur wenig. Andererseits drangen die Sickerwasser allmählich immer tiefer in die fest gewordene, langsam erkaltende Erdrinde ein, wodurch der Umfang des Meeres verkleinert, der Umfang des Landes aber vergrössert wurden. Ob und inwieweit auch vulcanische Kräfte im gleichen Sinn gewirkt haben, mag eine offene Frage bleiben. Aber die Anfänge des festen Landes waren noch zu schwach, um eine irgend wahrnehmbare Rückwirkung auf die climatischen Zustände auszuüben. Die Zeit musste aber kommen, wenn auch

¹⁾ Untersuchungen über die Entwicklungsgesetze 1858. S. 351 und 123.

ganz allmählich, da die sporadischen Flecken des Festlandes sich zusammenschlossen und die Continente ins Dasein traten. Sobald aber festes Land in einer Ausdehnung vorhanden war, dass dasselbe den Namen eines Continents verdiente, so konnte dieser Umstand nicht mehr ohne Rückwirkung auf das Klima bleiben.

Die bisherige Gleichförmigkeit musste bis auf einen gewissen Grad aufgehoben werden wodurch in mittleren und höheren Breiten ein Verlust an Wärme verbunden war. Die grosse Gleichförmigkeit und hohe Wärme der alten geologischen Perioden ist ja, wie zuvor ausgeführt wurde, in erster Reihe durch die physikalischen Eigenschaften des allverbreiteten Wassers bedingt, wenn auch nicht durch sie ganz allein.

Mit dem Erscheinen der Continente traten aber noch andere Erscheinungen auf, welche die Wirkung des festen Landes verstärkten. Die Landwinde, welche zur Ausgleichung der gestörten Gleichgewichts der Lufttemperatur sich erhoben, waren im Stande die Wolkenhülle theilweise aufzusaugen und zeitweise zu zerstören. Ohnehin musste die Wolkenbildung in der tertiären Zeit spärlicher sein als in den alten geologischen Perioden, weil die Continente weniger Wasserdampf lieferten als das Meer, das zuvor ihre Stelle einnahm. Mit der Zerreißung der zuvor constanten Dunst- und Wolkenhülle, wurde nun die Ungleichförmigkeit des Klimas in den verschiedenen Breiten gesteigert; Zustrahlung und Ausstrahlung fingen an ihr Spiel energischer zu treiben.

Ein solcher Zustand der Oberfläche der Erde und des Klimas liegt nach den paläontologischen Untersuchungen zur tertiären Zeit in der That klar vor Augen. Aber einen hohen Grad der Ausbildung haben diese Zustände noch keineswegs erreicht. Die Continente waren vielfach noch durchbrochen von Meeresarmen, wie jede geognostische Karte lehrt, oder auch von grossen Süßwasserseen, von welchen die weitverbreiteten Schildkröten und Krokodile Zeugnis geben; überdiess war das Land niedrig. Heer nimmt die Meereshöhe der Molasselandschaft mit richtigem Tact, wie uns scheint, auf nicht mehr als 250' über dem Meeresspiegel an (cf. *Urwelt* S. 478). In der 2. Auflage der *Urwelt* nimmt er dafür 100 m. Die Flüsse hatten wenig Gefäll, das Flussadernetz war wenig entwickelt. Wir können sagen: in der Tertiärzeit waren in der That Continente vorhanden, aber sie befanden sich noch im Anfangsstadium ihrer Ausbildung. Im Zusammenhang mit diesen Verhältnissen wird man annehmen dürfen und müssen, dass zwar die constante Bewölkung der alten Perioden nicht mehr bestand, aber sie mag immerhin noch um ein beträchtliches Maass stärker gewesen sein als heutzutage. Dank den Bemühungen der Paläontologen (besonders Heer's) ist man im Stande, von dem Klima der Tertiärzeit (Miocänzeit hauptsächlich) nicht bloß eine allgemeine, immerhin unbestimmte Darlegung zu

geben, sondern bestimmte Ziffern aufzuführen, welche ein deutliches, ziemlich scharf umgrenztes Bild desselben erkennen lassen. Schon Bronn hat in seinen Entwicklungsgesetzen S. 198 die climatischen Verhältnisse der Tertiärzeit dargestellt; allein durch die merkwürdige Ausbeute von fossilen Pflanzen in den höchsten Breiten, deren Untersuchung sich Heer ¹⁾ unternahm, haben sich noch viel bestimmtere Resultate ergeben. Hiernach berechnete Heer (im VII. Bande seiner Polarflora) als Minimalbetrag der mittleren Jahrestemperatur zur Miocänzeit für Spitzbergen (78° n. B.) + 9° C.; für Grönland (70° n. B.) + 12° C. und für Grinnellland (82° n. B.) + 8° C. Im Beginn seiner Untersuchungen über die polare Flora hatte Heer die Wärme dieser Localitäten um einige Grade niedriger geschätzt. Allein schon Graf Saporta machte aufmerksam, dass jene Schätzung ohne Zweifel noch zu niedrig sein werde. Dadurch und durch eigene Prüfung sah auch Heer sich veranlasst, etwas höher zu greifen und mit der Aufstellung der oben angeführten Zahlen befinden sich nun diese beiden Forscher auf dem Gebiete der Phytoläontologie in vollkommener Harmonie.

Für die Schweiz (47° n. B.) berechnet sodann Heer die Temperatur der untern Süsswassermolasse auf 20—21° C., die der obern auf 18—19° C., somit im Mittel beider auf 19°,50 C. = 15°,60 R. Die tropischen Breiten aber (Sumatra, Java, Borneo) weisen, wenn auch das genaue Alter der Formation, aus welcher die Pflanzenreste stammen, noch nicht ganz sicher gestellt ist, auf eine dem recenten Clima entsprechende Temperatur hin, nach den übereinstimmenden Untersuchungen von Heer ²⁾, Göppert ³⁾ und Geyler ⁴⁾. Das climatische Bild der Tertiärzeit, das aus diesen Ziffern entgegentritt, steht schon ziemlich weit ab von dem Clima der Urzeit; es ist durchaus nicht mehr so gleichförmig wie jenes. Es steht aber noch weiter ab von dem Normalclima der Gegenwart, sofern es doch viel gleichförmiger in den verschiedenen Breitengraden ist, als das heutige. Nur in den Tropen selbst stimmen sowohl das tertiäre Clima, als das Clima der ältesten Perioden, als das Seeclima der Gegenwart, sowie auch das Normalclima bis auf eine überraschend geringe Abweichung hin überein. Relativ am nächsten kommt das Tertiärclima mit dem reinen Seeclima der Gegenwart überein. Allein die Abweichung ist auch hier noch zu gross, wie es andererseits sicher ist, dass zur Tertiärzeit die Erdoberfläche keineswegs mehr eine rein oceanische war. Wir werden wohl die Eigenenthümlichkeit dieses Climas am besten verstehen lernen, wenn wir dasselbe so analysiren:

¹⁾ Flora fossilis arctica. VII Bände von 1868—1883.

²⁾ Fossile Pflanzen von Sumatra. S. 9.

³⁾ Tertiärflora von Java. S. 65.

⁴⁾ Fossile Pflanzen von Borneo. S. 69.

1. Das oceanische Clima der alten Perioden war zur mittleren Tertiärzeit zurückgedrängt, aber noch nicht soweit, dass schon ein Continentalelima im heutigen Sinn hätte Platz greifen können.

2. Auch die constante Bewölkung der alten Perioden wurde unterbrochen, aber nicht in dem hohen Grade wie heutzutage. Durch das Zusammenwirken dieser beiden Umstände wurde ein Clima hervorgerufen, welches zwischen dem sehr gleichförmigen und warmen der alten Perioden und zwischen den ungleichförmigen und abgekühlten der Gegenwart einigermaßen in der Mitte steht, jedoch so, dass es noch mehr zu den Eigenschaften der alten Perioden Annäherung zeigt, als zu denen der Gegenwart. Ein Zuschuss von Wärme durch das Erdinnere ist in diesen jungen Perioden, wenn auch nicht absolut abzulehnen, aber so unbedeutend, dass man von ihm ganz absehen kann. Sobald aber die tellurischen Zustände in der bisherigen Richtung sich noch weiter entwickelten, als ungefähr zur mittelmiocänen Periode geschehen war, so mussten auch die climatischen Differenzen noch schärfer hervortreten.

2. Artikel.

Climatische Zustände gegen Ende der Pliocänzeit.

Während der Pliocänzeit haben die Continente ihre Gestalt und ihren Umfang gewonnen, wie sie in der Gegenwart noch bestehen, wenn auch nicht in allen Einzelheiten, so doch in der Hauptsache. In Folge dieser Aenderung der tellurischen Verhältnisse, treten nun aber auch climatische Abänderungen ein, welche das Ende der Tertiärzeit von ihrem Anfang und ihrer Mitte beträchtlich unterscheiden. Die paläontologischen Untersuchungen über diesen Abschnitt der Tertiärformation sind leider nicht ganz so ergiebig, wenigstens nach dem gegenwärtigen Stand, als über die früheren Abtheilungen. Der Grund mag in der Natur der Sache selbst liegen. Zeiten der Hebung, wie die pliocäne Periode offenbar in hervorragender Weise war, sind weniger geeignet zur Schichtenbildung und zum Einschluss von Organismen in dieselben, als Zeiten der Senkung oder des ruhigen Beharrens. Wo aber Untersuchungen angestellt werden konnten, z. B. in England, lassen sich starke Veränderungen der Temperaturverhältnisse während dieser Zeit daraus abnehmen. Die pliocäne Formation (Crag) daselbst, lässt nach Wood ¹⁾ bei den Meeresmuscheln von Stufe zu Stufe ein Abnehmen jener Arten erkennen, welche einem wärmeren Clima angehören; dagegen ein stetiges Zunehmen jener Arten, die kälteren Gegenden zu eigen sind, so dass zuletzt die Meeresbevölkerung schon am Schlusse der pliocänen Zeit einen Charakter annimmt, der heutzutage nur in höhern Breiten gefunden

¹⁾ cf. Lyell: Alter des Menschengeschlechts. S. 162.

wird. Es wurde sogar der Versuch gemacht, Pliocän und Eiszeit geradezu zu identificiren, was jedoch von anderer Seite abgelehnt wurde (cf. Rüttimeyer: Pliocän und Eiszeit). Dagegen wird die von Heer vertretene Ansicht (Urwelt. 2. Auflage, S. 659), dass die Temperatur am Ende der pliocänen Zeit mit jener der Gegenwart gleich zu setzen sei, der Wirklichkeit am meisten entsprechen. Daraus ergibt sich unmittelbar, dass der stärkste relative Absprung der Temperaturerniedrigung zwischen die Miocänzeit und das Ende der Pliocänzeit fällt. Heer verzeichnet für mittlere Breiten (Schweiz) der obermiocänen Zeit 18°,5 C., für das Ende der Pliocänzeit nur noch 9° C., ein Abstand, der grösser ist als je vorher und nachher zwischen zwei zeitlich einander so unmittelbar nahe gerückten Perioden (cf. Urwelt. 2. Auflage, S. 659). Befremden können solche climatische Zustände nicht. Weil sich die tellurischen Verhältnisse während der Pliocänzeit beträchtlich änderten, so mussten auch die climatischen Zustände im Sinne derselben sich beträchtlich abändern; der continentale Charakter des Klimas konnte und musste jetzt in einer gewissen Schärfe in die Erscheinung treten. Letzterer zeichnet sich aber aus sowohl durch Ungleichförmigkeit der Temperatur in verschiedenen Breiten und in verschiedenen Jahreszeiten, als auch durch einen Rückgang der mittleren Jahreswärme in den mittleren und hohen Breiten, wie das schon in den vorangegangenen Artikeln auseinandergesetzt wurde. Wenn Dove auf S. 25 seiner öfter citirten Schrift bemerkt, dass die Temperatur der Erdoberfläche sich im Allgemeinen bei jeder Vermehrung des festen Areals vermehrt haben müsse, so ist uns diese Aeußerung unverständlich. Wir verweisen jedoch auf die Angabe der nämlichen Schrift, S. 22, welche ganz richtig sagt: »dass das feste Land in der heissen Zone im Jahresmittel heisser wird, als das Meer, in gemässigten und kalten Zonen aber das Umgekehrte stattfindet.«

Es musste somit das pliocäne Klima nicht blos von den alten geologischen Perioden stark abweichen, sehr annähernd wie das heutige Klima, sondern auch von dem der anfänglichen und mittleren Tertiärzeit selbst, während welcher der continentale Charakter erst in seinen Anfängen sich befand. Die Continente, die am Ende der Pliocänzeit vorhanden waren, vermochten sich ihr spezifisches Klima selbst zu schaffen. Das feste und trockene Land ist ein vielmal besserer Wärmeleiter als das Wasser, man nimmt an, fünfmal besser. Dass daraus grössere Ungleichförmigkeit der Temperatur entstehen müsse, leuchtet ein. Sodann sind die trockenen Landwinde jetzt, seitdem die continentale Beschaffenheit der Erdoberfläche noch schärfer hervorgetreten ist, noch weit mehr geeignet, die Wolkenhülle zu zerreißen und der Ausstrahlung und Zustrahlung freien Pass zu gewähren. Dass aber in mittleren und höheren Breiten der Effect der Ausstrahlung überwiegen musste, lehrt eine einfache Betrachtung. Die Zustrah-

lung von der Sonne her ist in diesen Breiten schon an sich wegen des schiefen Auffallens der Sonnenstrahlen geschwächt; dagegen hat die Ausstrahlung überall mit keinem schiefen Winkel zu schaffen und kann sich in ungeschwächter Kraft auch in hohen Breiten vollziehen, so dass sich bei dem vorherrschend heitern Himmel des continentalen Climas ein Ueberschuss der Ausstrahlung in höheren Breiten ergeben muss, was gleichbedeutend ist mit einem Deficit an Wärme. Hiezu kommt der climatische Einfluss, der sich aus den Unebenheiten der Erdoberfläche (Gebirgen) ergab, und sich in dieser letzten Zeit der Tertiärformation vorzüglich einstellte. Die Gebirge trugen wesentlich dazu bei, das Clima nicht bloß ungleichförmiger, sondern auch kälter zu machen. Da jedoch dieselben über die Continente hin sehr unregelmässig zerstreut sind und unter sich in Höhe und Ausdehnung sehr bedeutend abweichen, so ist es sehr schwierig, hiefür eine bestimmte Ziffer anzuführen und dieselbe von der Wirkung des continentalen Climas allein (auch ohne Gebirge) auszuscheiden. Es ist um so unthunlicher darauf einzugehen, als die Geographen und Meteorologen, in Würdigung der durch die gebirgigen Erhebungen verursachten Unregelmässigkeiten der Temperaturverhältnisse, eine Reduction auf die Meeresfläche zur Anwendung zu bringen sich zum Grundsatz gemacht haben. Immerhin sieht man, dass auch in den Unterabtheilungen der Tertiärformation der Satz sich bestätigt, der unserer ganzen Auffassung zu Grunde liegt, dass die climatischen Verhältnisse wesentlich mit der tellurischen Oberflächenbeschaffenheit zusammenhängen.

Sodann ist aber noch ein dritter Umstand zu beachten. Wie das Clima zu Ende der Pliocänzeit dem heutigen Clima in der Hauptsache gleichzusetzen ist, so wird dazumal, wie heutzutage, in mittleren und höheren Breiten der Charakter der Niederschläge ebenfalls der gleiche gewesen sein; d. h. durch einen guten Theil des Jahres hindurch werden die Niederschläge in der festen Form des Schnees erfolgt sein. Eine Schneedecke lagerte sich auf weite Räume während des Winters längere oder kürzere Zeit auf der Erde nieder. Für die wärmere Jahreszeit erwuchs nun aber die nächste und unvermeidliche Aufgabe, den Schnee wegzuschmelzen, bevor eine positive Erwärmung erfolgen konnte. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass durch diese Leistung eine Abminderung der mittleren Jahrestemperatur stattfinden musste, sowohl gegenüber den alten Erdperioden, welche diese Erscheinung überhaupt nicht kannten, als auch gegenüber der Molasseperiode, wo dieselbe vielleicht in der Nähe der Pole aber nur auf engem Raum eine schnell vorübergehende Erscheinung gewesen sein konnte.

Die Condensationswärme bei der Krystallirung des Schnees dürfen wir als einen Ersatz für diesen Verlust an Wärme nicht in Anschlag bringen. Eine einfache Betrachtung über die Regionen, in welcher das Schmelzen des Schnees einerseits und das Krystallisiren

desselben andererseits stattfindet, wird darüber genügendes Licht verbreiten. Das Abschmelzen der Schneedecke geschieht unmittelbar an der Oberfläche der Erde selbst. Die hierzu erforderliche Wärme wird entnommen jenen Luftschichten und jenen Sonnenstrahlen, welche ohne diese Leistung direct auf die Erhöhung der Temperatur der Erdoberfläche einwirken würden. Die Erstarrung des Schnees aber findet in hohen Regionen der Luft statt, welche mit der Oberfläche der Erde jedenfalls in keinem unmittelbaren directen Contact stehen; die Condensationswärme zerstreut sich im freien Himmelsraum, während die zum Schmelzen des Schnees erforderliche Wärme aus der unmittelbaren Nähe der Erdoberfläche entnommen wird. Dadurch entsteht ein weiterer nicht gering anzuschlagender Verlust an effectiver, den Organismen sonst zu gut kommender Wärme der Erdoberfläche.

Hiemit sind drei Factoren namhaft gemacht, die continentale und die gebirgige Beschaffenheit der Erdoberfläche und dazu die Erscheinung des Schnees, welche zusammenwirkend wohl im Stande waren ein so gewaltiges Resultat hervorzurufen, wie dasselbe in der Abminderung der Temperatur seit der Molassezeit in mittleren Breiten von $18^{\circ},50$ C. auf 9° C. sich darstellte. In der That wird in keiner andern geologischen Periode ein Zusammentreffen so mannigfacher und energischer Umstände nachgewiesen werden können, welche eine solche Abänderung des zuvor im Besitz befindlichen Climas zu bewirken im Stande waren. Eine weitere wichtige Frage möchte nun die sein: ob nicht die abgeänderten climatischen Verhältnisse von sich aus im Stande waren, auf die Umgestaltung der Erdoberfläche zurückzuwirken? Mit andern Worten, ob nicht ein Verhältniss der Wechselwirkung zwischen climatischen und tellurischen Zuständen sich einstellen konnte, und ob dieses Verhältniss sich nicht schon zur pliocänen Zeit selbst geltend gemacht habe?

Wir glauben diese Frage mit Bestimmtheit bejahen zu können; wollen jedoch, um den Gegenstand nicht verwickelt zu machen, die Besprechung desselben anschieben und späterhin abgesondert behandeln. (cf. II. Abtheilung Capitel 2. 3.)

Drittes Capitel.

Erklärung der climatischen Verhältnisse der Quartärzeit.

Als Erbschaft aus der Tertiärzeit empfing die quartäre Zeitperiode nicht blos die Continente im Gegensatz zu der mehr oder weniger oceanischen Beschaffenheit der früheren Perioden, sondern auch die Gebirge. Diese letztere Seite ist es, welche der quartären Periode ihr

spezifisches climatisches Gepräge verleiht, und die deshalb noch näher in Betracht zu ziehen sein wird. Ein ausgedehnter Continent vermag, auch wenn er eine niedrige Lage über dem Meer einnimmt, ein excessives Clima hervorzurufen und, wenn dasselbe sich in hohen Breitengraden befindet, so wird auch das Jahresmittel der Temperatur tief herabgedrückt; aber die Erscheinung der Gletscher wird hierdurch allein noch nicht hervorgerufen.

Sibirien hat nach Middendorf ¹⁾ trotz seiner sehr tiefen jährlichen Durchschnittstemperatur, keinen bleibenden Schnee und keine Gletscher, weil die Sommerwärme im Stande ist, den Schnee wegzuschmelzen. Middendorf äussert sich aber, »dass eine nur unbedeutende Hebung des Taymirlandes um einige hundert Fuss oder auch das Vorhandensein eines einzigen Gipfels in einem Gebirgsstock, der sich um ein paar tausend Fuss erhöbe, hinreichend wäre, um das Land in eine Schneewüste zu verwandeln. Nur ein wenig mehr Seeclima, d. h. nur gedämpfte Sommermonate und einzelne Schneetriften würden übersommern, Kerne hinterlassend, welche, begünstigt durch einen darauf folgenden kalten Sommer, sich grossartig entwickeln und ihrerseits auf das Clima zurückzuwirken vermöchten«.

Die Vorbedingung der Entwicklung der Gletscher, besonders jener grossartigen Gletscher, wie sie in der quartären Zeit erscheinen, sind hiernach die Gebirge, auf welchen sich die Massen von Schnee ansammeln können.

Es wurde schon in einer frühern Abhandlung ²⁾ der Zusammenhang der Gebirge und der Gletscherzeit zu erörtern gesucht und möchten wir uns deshalb hier darauf beschränken können, nur die wichtigsten Gesichtspunkte hervorzuheben.

Die Gebirge erheben sich in Regionen des Luftkreises, in welchen wegen der Düntheit der Luft und ihrer dadurch verminderten Wärmecapacität die Niederschläge, je nach der geographischen Breite, einen grossen Theil des Jahrs in fester Form (Schnee) erfolgen. Die geringe Wärme des kurzen Sommers ist nicht im Stande den Schnee ganz zu bewältigen, es bleibt ein Rest übrig und so bildet sich die Zone des sogenannten ewigen Schnees. Man mag sich nun die Entstehung der Gebirge denken, wie man will, soviel wird sicher sein, dass dieselben anfänglich weniger zerstückelt, mehr in sich geschlossen waren, als heutzutage. Dass die Menge von Thälern, insbesondere von Querthälern, erst nachträglich durch die Erosion und die mit ihr Hand in Hand gehende Verwitterung entstanden sind, aus dem Gebirge herausmodellirt wurden, scheint bei dem heutigen Stand der Untersuchung kaum mehr zweifelhaft zu sein; wobei jedoch selbstverständlich durchaus nicht ausgeschlossen ist, dass sich die erodiren-

¹⁾ Reise in den äussersten Osten und Norden Sibiriens. IV, S. 435.

²⁾ Württ. naturwissenschaftliche Jahreshfte. 1875. S. 85.

den Gewässer die vorhandene Terrainbeschaffenheit (Risse und Spalten im Gebirge) möglichst zu Nutzen machten und sich an dieselben anschlossen.

Die Anfänge der Erosion können gleichzeitig mit der Erhebung der Gebirge begonnen haben. Sobald durch die Unebenheiten da und dort das Wasser ein stärkeres Gefäll erlangte, fing dasselbe an, Rinnen in das Gebirge zu graben. Aber diese Rinnen (Thäler) nahmen ihren Anfang am Fusse des Gebirgs und zogen sich langsamer oder rascher von unten nach oben, von aussen nach innen. Die Erosion konnte der Hebung nicht vorausseilen und auch nicht ganz gleichen Schritt mit derselben halten, weil das zu erodirende Object (der Berg), nothwendig vorher sein muss, als das Product der Erosion (das Thal). So brach sich die Erosion von dem Fuss und dem äussern Abhang ausgehend, nach oben und nach der Mitte des Gebirgs Bahn mit ungleicher Geschwindigkeit, aber immerhin langsamer als die Hebung. Ist ja heutzutage die Erosion in Gebirg und Hügelland auch da, wo keine Spur von recenter Hebung vorhanden ist, immer noch in Thätigkeit und lässt sich bei genauer Beobachtung der Fortschritt derselben, von Jahr zu Jahr erkennen. Das Wasseradernetz fährt immer noch fort sich auszubilden und neue Thäler und Thälchen untergeordneten Ranges in diagonalen oder rechtwinkliger Richtung auf das Hauptthal zu bilden. Das langsamere oder raschere Fortschreiten der Erosion durch die fliessenden Wasser, womit die Verwitterung Hand in Hand geht, hängt von verschiedenen Umständen ab, besonders von der Beschaffenheit der Schichten und Schichtenstellung.

Selbst in dem leicht möglichen Falle, dass alte, d. h. vorangegangene Erdperioden, oder auch einem früheren Abschnitt der gleichen Periode angehörige Thalwege, durch eine spätere Hebung mit emporgehoben wurden, werden sich die Verhältnisse der Erosion zur Hebung nicht wesentlich ändern. Sobald nämlich der alte Thalboden von der Hebung mitergriffen wurde, veränderten sich die Terrainverhältnisse so, dass derselbe nicht mehr die Functionen als Thalweg verrichten konnte. Der alte Thalweg war als solcher ausser Cours gesetzt und musste warten, ob und wann und wie weit bei den veränderten Terrainverhältnissen der Fortgang der Erosion ihn ergriff oder bei Seite liegen liess.

Aus all' diesem folgt, dass auf den inneren Zügen jener Gebirge, welche die Grenze des ewigen Schnees erreichten, die im Lauf der Jahre niedergehenden Schneemassen sich eine Zeit lang ansammeln mussten. Es bedarf kaum einer Rechnung, um zu zeigen, dass in Zeiträumen, welche in geologischem Sinne sehr klein sind, schon in einigen Jahrhunderten, sich gewaltige Schneemassen angesammelt haben mussten. Erst, wenn die der Hebung nachfolgende Erosion tiefer und tiefer ihre Querthäler eingefurcht hatte und gegen die inneren Gebirgszüge vorgerückt war, trat die Möglichkeit einer Abfuhr der Schneemassen durch die Querthäler

ein. Sie flossen nun ab als Gletscher und die sämmtlichen alten grossen Gletscher der Alpen flossen nur durch Querthäler ab.

Ob die Gletscher selbst direct zur Ausfurchung und Ausweitung der Thäler kräftig mitgewirkt haben, ist nach den Beobachtungen der alpinen Geologen zweifelhaft. Aber ihre indirecte diesbezügliche Wirkung ist sicher sehr hoch anzuschlagen. Dieselben schafften den Gebirgsschutt weg und führten ihn weit fort in Gegenden ausserhalb des Gebirges. Dadurch wurde für die Verwitterung immer neues Feld hergestellt, während ohne sie, durch die Schutthalden, die Thalwände vor tiefer gehender Verwitterung geschützt worden wären. Dass diese Thätigkeit der Gletscher schwer ins Gewicht fällt, wird alsbald klar, wenn man die ausgedehnten, mehrere hundert Fuss mächtigen Schuttmassen betrachtet, welche die alten Gletscher über ganze Landstrecken, über hunderte von Quadratmeilen hin transportirt haben.

Die Gletscher flossen durch die Querthäler in die Niederungen herab; aber die Wärme der Niederung war offenbar nicht im Stande dieses seit vielleicht manchen Jahrhunderten angesammelte Material alsbald zu bewältigen und zu schmelzen. Sie breiteten sich am Fuss des Gebirges in der Ebene fächerförmig aus. Die bisher in der Ebene lebende Fauna und Flora wurde verdrängt und climatische Zustände hervorgernfen, auch in der Ebene, die durch Fernwirkung auf benachbarte Mittelgebirge auf so kräftige Weise sich äussern konnte, dass auch auf diesen eine Linie des ewigen Schnees und Gletscherbildung ins Leben treten konnte. Für die Nachbarschaft des Rheinthalgletschers sind hier zu erwähnen: der Jura, die Vogesen und der Schwarzwald. In dem Fall aber, dass die Gletscher sich in das Meer ergossen, strandeten die Eisberge in vielleicht erst grosser Entfernung, überall die climatischen Zustände verschlimmernd. So war es möglich, dass weithin in Gegenden, die ihrer Lage nach zuvor eines vielleicht schon mehr oder weniger continentalen, aber immerhin gemässigten Klimas, theilhaftig waren, eine Umänderung der climatischen Verhältnisse sich vollzog, die man mit Recht mit dem Namen der Eiszeit belegte.

Viele Geologen sehen sich aus Gründen der Lagerung und der eingeschlossenen organischen Reste veranlasst, eine doppelte Eiszeit, unterbrochen durch eine interglaciale Periode (Utnach) anzunehmen. Für Norddeutschland wird von Dr. A. Penk ¹⁾ eine wenigstens dreimalige Wiederholung und Unterbrechung verlangt, eine Zahl, die in neuester Zeit von ihm auch auf Bayern ausgedehnt wird ²⁾.

¹⁾ Zeitschrift der deutschen geolog. Gesellschaft 1879. III, Band S. 117.

²⁾ Vergletscherung der deutschen Alpen 1882.

Es kann sich bloß fragen, ob diese Erscheinungen unter dem Gesichtspunkt einer selbstständigen geologischen Unterabtheilung aufgefasst werden dürfen und müssen, oder aber unter dem Gesichtspunkt von Schwankungen in der Abwicklung des Processes, welcher in seinen hauptsächlichsten Zügen dargestellt wurde. Unsere Auffassung legt den letzteren Gesichtspunkt näher. Die Entstehung der Gebirge, sei es durch Faltung oder durch irgend eine andere Ursache, war nicht Sache eines Moments, trat auch sicher nicht ausschliesslich nur in einer einzigen Periode ein, obwohl dem Ende der tertiären Zeit eine hervorragende Bedeutung zufällt; sie mag in manchen Gegenden der Erde schon früher angefangen haben und setzte sich jedenfalls durch die quartäre Zeit hindurch noch da und dort fort.

Bedeutende Niveauschwankungen in England und Amerika während der quartären Zeit legen davon bestimmte Zeugnisse ab. Durch die fortgesetzte Faltung oder Hebung wurden nun bald da bald dort die schon eröffneten Wege zur Abfuhr des Schnees oder zum Abfluss der Gletscher verstopft. Die weitere Abfuhr gerieth vielleicht auf längere Zeit ins Stocken, oder traten Senkungen selbst unter den Spiegel des Meeres ein. In der Zwischenzeit konnte nun da und dort ein gelinderes Klima sich geltend machen, weil die Ursache der Verschlechterung des Klimas, mehr oder weniger vollständig, auf kürzere oder längere Zeit beseitigt, wenigstens in die Ferne gerückt war.

Sobald aber durch die Erosion wieder neue Bahnen gebrochen waren, so begann auch wieder der Prozess der Entladung der indessen im Gebirge wiederholt angesammelten Schneemassen mit all' seinen begleitenden Erscheinungen.

Wollte man aber den durch Beobachtung an mehreren Orten (cf. Heer: *Urwelt*. 2. Auflage, S. 574) nachgewiesenen Temperaturschwankungen innerhalb der Quartärzeit die Bedeutung einer allgemein verbreiteten geologischen Unterabtheilung zuerkennen, so würde man dadurch auf einen ganz anderen principiellen Standpunkt hingedrängt; auf jenen Standpunkt, der eine fortlaufende Reihe abwechselnd warmer und kalter Perioden durch die ganze Zeit der Entwicklung der Erde hindurch fordert (Croll). Da jedoch die paläontologischen Untersuchungen hiemit keineswegs im Einklang stehen (cf. Heer: *Urwelt*. 2. Auflage, S. 668), so wird es misslich sein, auf diese Auffassung sich einzulassen, so lange noch die Möglichkeit einer anderweitigen Erklärung besteht. Jedenfalls gereicht es zum Nachtheile dieser Theorie, dass die Zahl der Eiszeitperioden in sehr verschiedener Weise anzugeben sich veranlasst sehen. Dass Dr. Penk für Norddeutschland und Bayern drei verschiedene Vergletscherungen verlangt, wurde schon bemerkt. In England aber wollen, nach der Angabe bei Dr. Schmick (cf. *Sonne und Mond als die Bildner der Erdschale*, S. 90), zwischen den Forest-beds und heute nicht weniger

als fünf warme Zwischenperioden gezählt werden. Ferner wird von Schmick ein Beispiel aus Schottland (nach Croll) mitgetheilt (l. a. S. 91), »dass der Bohrer innerhalb einer Tiefe von 86 Fuss nicht weniger als 6 Schichten mit Gletscherblocklehm, wohlgeschieden durch Flusssandschichten; in zwei Fällen 5, in einem Fall 4, in zehn Fällen 3, in fünfundzwanzig Fällen 2 Blocklehmagerungen, jedesmal klar getrennt durch Flusssand und Kieslager«, erreichte.

Man kann daher sicher sein, fügt Schmick hinzu, dass, wenn der Blocklehm irgendwo sechstheilig ist, er es allenthalben sein müsse, obschon die Trennung nicht überall festgestellt werden kann; ja es liegt die Wahrscheinlichkeit nahe, dass die Sechstheiligkeit nicht einmal die höchste Zahl ist«.

Bei solchem Stande der Sache empfiehlt sich doch der Gesichtspunkt der Oscillationen einer einmaligen Gletscherzeit viel besser, als die Zerlegung in eine fast unabsehbare Reihe von selbstständigen Eiszeiten. Störungen, Verlangsamungen und Beschleunigungen in der Ausbildung und Fortbewegung der Gletscher sind aber auch noch aus anderen Gründen als unabwendbar zu erkennen. Wenn es richtig ist, dass der Austritt der angesammelten Schneemassen aus dem Gebirg und ihre Vorwärtsbewegung erst durch die von aussen nach innen erfolgende allmähliche Erosion der Querthäler ermöglicht wurde, so musste nothwendig der Gletscher sich ruckweise vorwärts bewegen. Mit der Durchschneidung jeder weiter nach einwärts liegenden Kette des Gebirges wurde wieder ein neues Längsthal eröffnet, welches nun seinen angesammelten Vorrath von Material ablassen konnte. Aber bis zur Eröffnung des nächstfolgenden Längsthals durch Erosion verstrich ein Zeitraum, während dessen nicht die gleichen Massen von Material stetig abgingen. Die Fortbewegung des Gletschers wurde dadurch verlangsamt oder gerieth ins Stocken und erhielt erst wieder einen starken Anstoss, wenn eine neue weitere nach innen gelegene Gebirgskette eröffnet wurde. Jedes grössere Querthal in den Alpen und anderwärts, durch welches in der Quartärzeit sich ein Gletscher hinbewegte, wird auch eine grössere oder kleinere Anzahl von Längsthälern oder Längsketten des Gebirgs durchschnitten haben. Und selbst das in den Längsthälern und an ihren Gehängen angesammelte Material hatte keineswegs eine so offene Bahn, dass dasselbe in ununterbrochenem und gleichmässigem Erguss in die Querthäler vorrücken konnte. Auch innerhalb der Längsthäler selbst waren Hindernisse mannigfaltiger Art, Biegungen, Verengungen und Unebenheiten zu überwinden, so dass Störungen des gleichmässigen Fortganges unvermeidlich waren. Nachweisbar werden aber diese Störungen nur in seltenen und ausnahmsweisen Fällen sein, da die schliesslich doch erfolgte Besitznahme des Terrains durch die Gletscher ihre Spuren in den meisten Fällen verwischte.

Es ist hier nicht der Ort, specielle Beobachtungen über Lagerungsverhältnisse anzuführen. Aber wir könnten solche aus dem Nordrand des Rheinthalgletschers (bei Biberach) namhaft machen, woselbst in einer rasch aufeinander folgenden Reihe von Aufschlüssen ganz bedeutende Abweichungen in den Lagerungsverhältnissen vorhanden sind, die unseres Erachtens nicht anders, denn als locale Abänderungen aufgefasst werden können. Einige Punkte haben wir in den Württemb. Jahreshften 1874, Seite 68, namhaft gemacht. Aber auch die Untersuchungen der Schweizer Geologen selbst, welche innerhalb des Molassegebiets der Schweiz Reihen von hintereinander liegenden Endmoränen nachgewiesen¹⁾ haben, sind ganz geeignet den Beweis zu liefern, dass der Rückzug des Gletschers mehrfachen localen Schwankungen unterlag. An solchen Stellen und zu solchen Zeiten, wo die Endmoränen sich anhäuften, erlitt derselbe offenbar Verzögerungen, die sich oft wiederholten. Noch mehr mögen Stillstände stattgefunden haben beim Vordringen der Gletscher, da gerade hier zugleich oft die bedeutendsten Terrainschwierigkeiten zu überwinden waren, die dem Vordringen derselben recht lang dauernde Hindernisse in den Weg gelegt haben mögen.

Die characteristischen Erscheinungen der Eiszeit sind somit nach dieser Auffassung zunächst an bestimmte, oft verwickelte, locale Bedingungen gebunden; sie sind eine Folgeerscheinung der ursprünglichen Beschaffenheit des Gebirgs und haben eine grosse räumliche Ausdehnung annehmen können und müssen, aber sie sind ihrer Natur nach nicht universell.

Wir können desshalb dem Grafen Saporta nicht principiell widersprechen, wenn derselbe auf Grund einiger fossilen Organismen der quartären Periode ein wärmeres Klima zuzuschreiben geneigt ist (l. c. S. 122). Die tellurischen Verhältnisse konnten zur Quartärzeit an verschiedenen Orten sehr verschieden gewesen sein. Dort Gebirge, auf welchen sich die Schneemassen ansammelten und schliesslich auf die Ebene hinab entluden; anderwärts aber Ebenen oder Hügelland, welche von dem Einfluss der Gebirge und der daselbst sich vollziehenden Vorgänge so weit entfernt waren, dass dieselben nicht oder kaum merklich davon beeinflusst wurden, während vielleicht erwärmende Einflüsse sich geltend machen konnten. Ein Blick auf die Karte, welche von Professor Rütimeyer²⁾ zur Veranschaulichung der Verbreitung der alpinen Gletscher in der Quartärzeit entworfen wurde, zeigt auch in der That, dass auf das französische Territorium die Gletscher nur sehr wenig Eingang gefunden haben; es ist nur die Gegend von Grenoble bis Lyon. Deutschland aber wurde nicht blos in seiner ganzen

¹⁾ cf. Heer: Urvwelt. 2. Auflage, S. 543.

²⁾ Pliocän und Eiszeit. Tafel I.

Breite von Süden her (von den Alpen aus) mit Gletschern weithin überdeckt, sondern gleichzeitig wurde der Norden durch die scandinavischen Eisberge überschüttet und die mitteldeutschen Gebirge und Landstriche in die Mitte genommen. Es konnten somit in dieser Zeit die mannigfaltigsten und nicht selten scheinbar oder wirklich sich widersprechende climatische Erscheinungen auftreten und sich eine Zeit lang aufrecht erhalten, deren Ausgleichung erst der folgenden Periode, der recenten Erdperiode, vorbehalten waren.

Ein ganz specielles Interesse nimmt die Erscheinung für sich in Anspruch, dass der Fauna der Quartärzeit vielfach ein nicht zu verkennendes Element von Steppenthieren beige-mischt ist, das besonders durch die verdienstvollen Bemühungen von Professor Dr. Nehring bekannt wurde (*Alactaga jaculus*, *Spermophilus* etc.). Dass die Thiere der Quartärzeit für ein rauhes Clima ausgerüstet waren, oder trotzig Raubthiere, die der Rauigkeit des Klimas einerseits widerstanden, andererseits in Höhlen Schutz suchten und fanden, das ist mit den Vorstellungen, die man sich von dem Clima der Quartärzeit machen muss, ganz im Einklang. Aber auffallend ist ein Steppenclima in Gegenden von Centraleuropa, die heutzutage ganz anders geartet sind. Ohne Bodenschwankungen zu Hilfe zu nehmen, wird man sich nicht leicht eine Vorstellung davon machen können. Wenn man sich aber davor nicht scheut, so wären die Gegenden um das heutige Dänemark ins Auge zu fassen. Dort greifen eine Anzahl von sehr seichten Meeren in einander (Ostsee, Nordsee, Belt, Canal), deren mittlere Tiefe nach den einzelnen Berechnungen von Dr. Krümmel (cf. Vergleichende Morphologie der Meeresräume, S. 95 und 96) auf nicht mehr als 57 m mittlerer Tiefe sich herausstellt. Wenn in dieser Gegend im Laufe der Quartärzeit oder im Anschlusse an sie, wenn auch nur vorübergehend, statt Meer, Land war, so wurden dadurch bedeutende Ländermassen in festen Zusammenhang gebracht: Norwegen und Schweden mit Russland und Deutschland und mit ihnen auch noch Frankreich und England verbunden. Dadurch konnte sich das Clima dieses Ländercomplexes bedeutend ändern und Aehnlichkeit mit dem heutigen asiatischen Clima erreichen. Ob dabei auch der weitere Gesichtspunkt noch von Bedeutung sein konnte, dass durch die Ansammlung der Schneemassen auf gewaltigen Strecken (sogenanntes Inlandeis in Nordeuropa und Nordamerika, sowie Schneeansammlungen auf den meisten Hochgebirgen und sogar Mittelgebirgen in höheren Breiten), ein fühlbarer Theil der gesammten Wassermengen der Erdoberfläche so zu sagen suspendirt wurde, latent gemacht wurde, will hier nur berührt, nicht erörtert werden.

Für jene Gegenden Mitteldeutschlands, welche von dem Gletscher selbst nicht occupirt waren, aber unter dem Einfluss der in Nord und Süd in colossalem Massstab entwickelten

Eismassen standen, beansprucht Herr Prof. Sandberger ¹⁾ eine Temperatur, wie sie heutzutage Petersburg besitzt, nämlich $3\frac{1}{2}^{\circ}$ R., wofür ihm sowohl die Beschaffenheit der Conchylien als der Wirbelthiere den Maassstab an die Hand geben. Für Würzburg speciell, mit 8° R. Jahreswärme, beträgt sonach die Differenz gegen das heutige Clima eine Abnahme von $4\frac{1}{2}^{\circ}$ R.

Ganz nahe übereinstimmend hiemit ist das Resultat, welches von Heer für die Schweiz ²⁾ gewonnen wird. Er nimmt für dieselbe während der ersten Gletscherperiode 5° C. und während der zweiten 4° C. als mittlere Jahrestemperatur an.

Viertes Capitel.

Erklärung der climatischen Verhältnisse der Gegenwart.

Von dem Schluss der quartären Zeit bis zur Gegenwart haben bedeutende Senkungen und Hebungen, welche im Stande gewesen wären, das gegenseitige Verhältniss des festen Landes und des flüssigen Elements in grossem Maassstab zu ändern, nicht stattgefunden. Die quartären Schichtencomplexe zeigen, soweit bekannt, überall ungestörte, ursprüngliche, horizontale Lagerungsverhältnisse; kleinere Abweichungen haben nur locale Bedeutung.

Wenn aber auch die tellurischen Verhältnisse nach dieser Richtung hin eine wesentliche Aenderung nicht erlitten haben, so fehlte es doch nach anderer Seite hin nicht an belangreichen Alterationen der in der vorhergehenden Periode bestandenen Zustände.

Im vorigen Capitel wurde auf die Thätigkeit der Erosion und der dadurch bewirkten Zerstücklung der Gebirge hingewiesen, durch welche die anfängliche Geschlossenheit derselben durchbrochen wurde. Eine langdauernde Ansammlung der Schneemassen war nunmehr nicht mehr möglich. Damit wurde die Erscheinung der Gletscher auf ein bescheidenes Maass zurückgeführt. Die noch vorhandenen Gletscher der Hochgebirge führen das ganze Jahr hindurch den Gebirgsschnee ab und stellen nach den Untersuchungen von Tyndall selbst während des Winters ihre Thätigkeit nicht ganz ein. Mit solchen zeitlich zertheilten Mengen weiss die Wärme der Niederungen bald fertig zu werden. Die recenten Gletscherreste werden, mit Ausnahme derjenigen, die in sehr hohen Breiten sich befinden, nach kurzem Lauf in Wasser umgewandelt und setzen als Flüsse ihre Bahn fort.

¹⁾ Ueber Ablagerungen der Glacialzeit und ihre Fauna. S. 13, 1879.

²⁾ Urwelt der Schweiz. 2. Auflage, S. 650.

Hiermit ist eine wesentliche Milderung des recenten Climas gegenüber der quartären Zeit gegeben.

Allein eine Rückkehr zu dem warmen und gleichförmigen Clima der alten geologischen Perioden, oder auch nur der Molassezeit konnte nicht stattfinden. Wenn es möglich wäre, dass das feste Land sich soweit erniedrigen würde, wie zur Molassezeit, somit einen sehr wichtigen Theil seiner continentalen Beschaffenheit verlieren würde, wenn damit dann auch die Bewölkungsverhältnisse und der Charakter der meteorischen Niederschläge sich in Einklang setzen würden, so würde auch das Clima der Molassezeit wieder in Wirksamkeit treten können. Und wenn die Erniedrigung des festen Landes noch weiter gehen würde, wenn die Continente sich auflösen würden, die oceanische Beschaffenheit der Erdoberfläche wieder weit- aus dominirend würde und sich die Bewölkungsverhältnisse damit in Einklang setzen würden, dann könnte auch selbst das Clima der alten Perioden in der Hauptsache sich wieder geltend machen.

Nur das Clima und die Beschaffenheit der Erdoberfläche am Ende der Pliocänzeit bietet einen Charakter dar, welcher mit dem der Gegenwart im Einklange steht. Die Gebirge der Pliocänzeit hatten wohl eine andere Qualität als die der Jetztzeit, es konnten sich dort wegen ihrer grösseren Geschlossenheit die Anfänge zu einer climatischen befremdenden Umänderung bilden; aber doch nur die Anfänge, denn die volle wirkliche Ausbildung dieser Zustände ist nicht mehr die Pliocänzeit, sondern die Eiszeit selbst. Heutzutage aber vermögen sich nur noch verhältnissmässig geringe Reste der grossartigen Erscheinung der Gletscherzeit zu halten. Das Anfangsstadium zur Pliocänzeit und das Endstadium in der recenten Periode werden, wenigstens was den climatischen Effect anbelangt, kaum von einander verschieden sein.

Wie gross und welcher Art die Temperaturdifferenzen gegenüber den früheren Erdperioden seien, findet man durch Vergleichung der jetzt bestehenden Temperatur mit jener, welche sich aus den Fossilresten der früheren Erdperioden annähernd abnehmen lassen. Heer und Graf Saporta haben sich eingehend mit diesen Untersuchungen beschäftigt, wie schon früher hervorgehoben wurde.

Wir haben jedoch gesucht, die Abnahme der Temperatur auch noch auf einem andern Wege darzulegen. Für das Clima der alten Erdperioden kann man nach Tabelle II und V unter Hinzufügung von 3° R., welche in Art. 5 des ersten Abschnitts als eine zulässige nachzuweisen gesucht wurde, in den Hauptzonen annehmen:

für die polaren Gegenden	c. + 17°	R.
für den 45° der Breite	c. + 19°	R.
für die Tropen	c. + 23°	R.

Das Normalclima der Gegenwart aber (Dove) ergibt als einen Mittelwerth der nämlichen Zonen (cf. Tabelle I):

für die Polarzone im Mittel	— 11° R.
für den 45° der Breite	+ 7,60 R.
für die Tropen	+ 21° R.

Die Abminderung der Wärme wäre somit seit den alten geologischen Perioden:

in der polaren Region	28° R.
in mittleren Breiten	11°,40 R.
unter den Tropen	2° R.

der mittlere Durchschnitt der Abnahme in allen drei Zonen circa 14° R.

Legt man aber die von den Paläontologen auf Grund der Fossilreste gemachten Anforderungen zu Grund, so ergibt sich kein beträchtlich abweichendes Resultat.

Die Paläontologen verlangen, wie früher schon angeführt, dem Wortlaut nach ein gleichmässiges Clima über alle Breiten für die alten Erdperioden im Betrag von ca. 20° R. Somit ergibt sich gegenüber dem Normalclima der Gegenwart eine Differenz von durchschnittlich:

in der Polarzone	31° R,
unter dem 45° der Breite	12°,40 R.
unter den Tropen	0° R.

beziehungsweise hier eine Zunahme von 1° R.

Der mittlere Durchschnitt der Abnahme in allen drei Zonen beträgt 14°,46 R., somit ähnlich wie oben.

Wir glauben jedoch, dass die Paläontologen kein grosses Gewicht auf eine unter allen Breiten ganz strict gleichmässige Temperatur selbst nur der alten Perioden legen werden, dass vielmehr die oben in Rechnung gebrachte sehr mässige Ungleichmässigkeit des Climas sich in manchen Punkten der natürlichen Ordnung der Dinge besser accommodiren werde. In allen Faunen- und Florengebieten der Jetztwelt kommen ähnliche und noch viel stärkere mittlere Temperaturdifferenzen vor, was nicht hindert, dass der grösste Theil der Pflanzen und Thiere über das ganze Gebiet hin ein gutes Gedeihen findet.

Sodann ist zu beachten, dass, wenn wirklich die Temperatur zwischen Aequator und Polen im stricten Wortsinn eine gleiche gewesen wäre, dann auch die meridionalen Meeresströmungen, welche hauptsächlich auf der Ungleichheit der Temperatur des oceanischen Wassers in verschiedenen Breiten beruhen ¹⁾, in Wegfall gekommen wäre. Auch nach der oben aus-

¹⁾ cf. Otto Krümmel: Die äquatorialen Meeresströmungen etc. S. 36.

geführten Auffassung ist der Temperaturunterschied keineswegs gross, aber er ist immerhin vorhanden und konnte, beziehungsweise musste eine Strömung zur Ausgleichung desselben, wenn auch in abgeschwächtem Maasse, stattfinden. Wenn ferner angenommen wird, dass unter den Tropen die Verdampfung des Wassers so unbehindert wie heutzutage vor sich gehen konnte, während dieselbe unter den höheren und hohen Breiten durch die constante Wolkenumhüllung behindert wurde und der Zustand einer Uebersättigung der Luft mit Wasserdampf sich einstellte, so wurde eine Verminderung des Vorraths an flüssigem Wasser unter den Tropen hervorgerufen, in den hohen Breiten aber, ein Ueberfluss desselben. Auch hiedurch gewann die Strömung einen Anstoss, so dass die Meeresströmungen auch in den alten Perioden doch eine gewisse Energie erreichen konnten.

Aus der oben angeführten Zusammenstellung der Temperaturen geht unmittelbar hervor, dass, wenn man die Gegenwart und die alten Erdperioden mit einander vergleicht, der Betrag und die Abstufung der Wärmeabnahme sich in verschiedenen Breiten sehr verschieden darstellt. Die kleinste Differenz findet sich unter den Tropen; namhaft stärker ist dieselbe in mittleren Breiten, am stärksten in hohen Breiten. Eine derartige Vertheilung der Wärme ist ganz charakteristisch und kann nur mit dem Fortschritt der terripetalen Entwicklung der Erdoberfläche in Einklang gebracht werden; sie ist sozusagen der climatische Reflex des Zurückweichens der oceanischen Beschaffenheit der Erdoberfläche seit den alten Erdperioden bis zur Gegenwart. Zur Bestätigung dient auch die Vergleichung der Temperatur der Molassezeit mit jener der Gegenwart.

Nach Heer ist zur Molassezeit für Spitzbergen und Grinellland eine mittlere Temperatur vorhanden von $+ 9^{\circ}$ C. und 8° C. ($= 7^{\circ},2$ R. und $6^{\circ},4$ R.), während der Parallelkreise von 80° Breite in der Gegenwart ein Normalelima von $- 11^{\circ}$ R. aufweist; somit zwischen Gegenwart und Molassezeit eine Differenz von ca. 18° R. Die Insel Disko (70° n. Br.) zeigt in der Tertiärzeit nach Heer $+ 12^{\circ}$ C. ($= 9^{\circ},60$ R.); in der Gegenwart hat der 70° der Breite eine normale Mitteltemperatur von $- 7^{\circ}$ R., somit eine Differenz von ca. $16^{\circ},60$ R.

In den mittleren Breiten (Schweiz) gestaltet sich die Wärmeabnahme schon anders. Heer berechnet für die Schweiz zwischen Gegenwart und Molassezeit eine Differenz von $7^{\circ}-9^{\circ}$ C. ($= 6^{\circ},40$ R.), wobei er eine Reduction auf 100 m Meereshöhe vornimmt.

Unter den Tropen dagegen lassen sich, soweit die Untersuchungen bisher gediehen sind, keine Temperaturunterschiede zwischen Gegenwart und Tertiärzeit nachweisen.

Es bestehen somit auch hier, zwischen Gegenwart und Molassezeit jene, man darf sagen, typischen Unterschiede und Abstufungen der zonenweisen Wärmevertheilung, nur in

abgeschwächtem Grade. Eine in den Hauptzügen ganz übereinstimmende Temperaturscala hat sich schon bei Vergleichung der alten Erdperioden mit der Gegenwart ergeben, nur dort in noch grösseren Distanzen sich bewegend, als zur Molassezeit. Dass in der Tertiärzeit (Miocänzeit) die Unterschiede nicht mehr in solcher Grösse sich darstellen, wie in den alten Erdperioden, steht ganz im Einklang mit der principiellen Anschauung von der allmählichen Umänderung der tellurischen und damit auch der climatischen Verhältnisse.

Nicht minder steht hiemit in Uebereinstimmung die grosse climatische Aehnlichkeit zwischen dem Ende der Pliocänzeit und der Gegenwart, da in beiden Zeitaltern die tellurischen Verhältnisse der Erdoberfläche schon unter einander ganz ähnlich geworden sind.

Die Paläontologen haben diese climatischen Zustände nicht blos in ihren allgemeinen Umrissen erkannt, sondern auch den speciellen Thatbestand mit den Folgerungen, die sich daraus ergeben, scharf genug hervorgehoben. So äussert sich Heer in der 2. Auflage seiner *Urwelt* (S. 510): »Der Abstand zwischen der miocänen und lebenden Flora ist daher in der arctischen Zone noch viel grösser, als in der gemässigten, so dass nach Norden hin derselbe an Grösse zunimmt.« Und auf S. 511: »Wir erfahren von diesen Pflanzen (aus Sumatra), dass im tropischen Asien zur Tertiärzeit dasselbe Clima herrschte, wie gegenwärtig; die grossen Aenderungen im Clima beschlagen daher nur die aussertropischen Theile der Erde.« Desgleichen äussert sich Graf Saporta (l. c. S. 124): »es besteht demnach eine Fortbewegung der Wärme in der Richtung der Breitgrade, welche die hohen Temperaturen um so mehr nach Norden vorschiebt, als man in die Vergangenheit zurückgeht. Diese Progression ist natürlich weit fühlbarer, wenn man in die Miocänzeit gelangt, die dem Pliocän vorausging und selbst einer noch wärmeren Periode folgte, welche als Eocän bezeichnet wird.«

Die Eigenthümlichkeit der Wärmevertheilung ist somit durch die paläontologischen Beobachtungen auch in den concreten Verhältnissen der einzelnen Zonen scharf erwirt. Die fernere Frage kann nur diese sein: welches Agens ist im Stande eine solche Wirkung hervorzubringen, dass in den verflossenen Erdperioden gegenüber dem heutigen Clima unter den Tropen das Clima keine Aenderung erleidet, während dasselbe in mittleren Breiten ziemlich stark, unter den höchsten Breiten aber am stärksten zu Gunsten der Wärme sich gestaltet hatte? Ein Blick auf die Tabelle I zeigt ganz deutlich, dass schon durch das oceanische Clima alle diese Modificationen in der That hervorgerufen werden, und dass dasselbe nur noch einer graduellen Verstärkung bedarf, um die climatischen Verhältnisse der früheren Erdperioden darzustellen. Ein anderes Agens aber, das die gleichen Wirkungen hervorzurufen im Stande wäre, wird wohl vergebens gesucht werden, es sei denn, dass die Wirkung desselben

geradezu auf die des Wassers zurückgeführt werden kann, wie bei der constanten Wolkenumhüllung von den Wendekreisen an polwärts nachzuweisen gesucht wurde. Auch die Blandet'sche Hypothese (Mercursonne) wird nicht ausreichen, alle diese Modificationen in der Vertheilung der Wärme zu erklären. Insbesondere wird es derselben nicht gelingen können zu erklären, weshalb gegen die höchsten Breiten zu die Wärmezunahme relativ (gegenüber dem Normalclima) am stärksten sich darstelle. Man mag sich die Beschaffenheit der Sonne vorstellen wie man will, mit dem schiefen Auffallen ihrer Strahlen gegen die Pole zu vermindert sich ihre Kraft in gleichem Verhältnisse und es ist auch in dieser Hypothese kein Factor gegeben, der diese Wärmeabnahme so modificiren könnte, wie die paläontologischen Beobachtungen es verlangen. Nur das Wasser des Oceans, besonders wenn es gegen Ausstrahlung genügend geschützt ist, vermag durch das Hervortretenlassen seiner Eigenschaft der hohen spezifischen Wärme gerade in solchen hohen Breiten zu bewirken, dass die absolute Wärme des Climas in den höheren und höchsten Breiten sich verhältnissmässig viel langsamer vermindert und dass sich dadurch polwärts relativ, dem Normalclima unter gleichen Breiten gegenüber, eine stetig wachsende Wärmezunahme ergibt. Auch in den mittleren Breiten wird durch die nämliche Eigenschaft des Wassers eine gleichartige Wirkung hervorgebracht, aber in minder hohem Grade und unter den Tropen neigt sich die Wirkung desselben zu einer Abkühlung hin, die jedoch so unbedeutend ist, dass Normalclima und Seeclima hier kaum differiren (cf. Tabelle I) und als gleich betrachtet werden können.

Eine solche Uebereinstimmung der theoretischen Auffassung mit den paläontologischen Untersuchungen bis auf die concretesten Züge hinaus, wird bei den anderweitigen Hypothesen vermisst.

Werfen wir einen Blick zurück auf den Gang der Entwicklung und Abänderung der climatischen Verhältnisse in den verschiedenen Perioden der Erde.

In den alten geologischen Perioden finden wir ein sehr gleichförmiges und warmes Clima über alle Zonen hin; mit der Tertiärzeit hauptsächlich fängt die deutliche zonenweise Ausscheidung der Climate an; und mit dem Ende der Tertiärzeit (Pliocän) machen sich Zustände geltend, die mit der heutigen Periode nahezu oder ganz übereinstimmen.

Für die alten Perioden haben wir eine Abnahme der Temperatur von dem Aequator bis zu den Polen gefunden, von $+ 24^{\circ}$ R. bis $+ 17^{\circ}$ R., somit auf jeden Breitengrad durchschnittlich nur $0,07^{\circ}$ R.

Zur Erklärung dieser climatischen Beschaffenheit wurde herbeigezogen das reine Seeclima, verstärkt durch eine constante Bewölkung von den Wendekreisen polwärts. Das Molasseclima ergibt eine Temperaturscala von $+ 21^{\circ}$ R. unter den Tropen bis zu $+ 6^{\circ}$ R. an den Polen,

somit eine Abnahme auf jeden Breitengrad vom Aequator an mit $0,16^{\circ}$ R. Zur Erklärung dieses Klimas gegenüber den Zuständen der alten Perioden wurde herbeigezogen das Zurückweichen der oceanischen Beschaffenheit der Erdoberfläche oder die Anfänge der auftauchenden Continente, welche auch einen Einfluss auf die Verminderung der Bewölkung ausübten und eine grössere Differenzirung des Klimas hervorriefen.

Das Ende der Tertiärzeit zeigt eine beschleunigte Abnahme der Temperatur, ganz ähnlich wie das heutige Klima, somit von $+ 21^{\circ}$ R. am Aequator bis zu $- 13^{\circ}$ R. an den Polen; eine Abnahme von $0,4^{\circ}$ R. auf jeden Breitengrad durchschnittlich vom Aequator zu den Polen, welche Abnahme jedoch sehr ungleichförmig über die verschiedenen Zonen sich vertheilt. Die Beschaffenheit der Erdoberfläche hatte am Ende der Tertiärzeit in ihrer gereiften continentalen und gebirgigen Beschaffenheit und in ihren meteorischen Niederschlägen (Schnee) einen Charakter angenommen, der mit der heutigen, sowohl was die Erdoberfläche selbst, als auch die Bewölkung betrifft, in guter Uebereinstimmung steht. Die Folge davon ist auch die Uebereinstimmung der climatischen Zustände.

Bis dahin macht die Entwicklung des Klimas den Eindruck, dass dasselbe ganz allein unter der Herrschaft eines Naturgesetzes stehe, nämlich der continentalen oder terripetalen Entwicklung der Erde.

Das quartäre Klima (Eiszeit) aber droht in diese gute Ordnung der Dinge eine Störung zu bringen. Es wurde jedoch darauf hingewiesen, dass dasselbe eine Folgeerscheinung der Erhebung der Gebirge sei, auf welchen anfänglich die Schneemassen sich ansammeln mussten. Die Gebirge waren anfänglich ausser Stande, wegen ihrer grösseren Geschlossenheit, die angesammelten Schneemassen alsbald und stetig zu entlassen. Die Anhäufung derselben und ihre schliessliche Dislocation war geeignet, aber doch nur vorübergehend, die normale Entwicklung des Klimas zu stören und sehr fremdartige climatische Erscheinungen hervorzurufen.

Als aber diese Krisis sich vollzogen hatte, so trat das heutige Klima, sich anschmiegend an die vorhandnen Gestaltungen der Erdoberfläche und ihrer Bewölkung, als das letzte Glied in die normale Reihe der climatischen Entwicklungen ein. Man erkennt ohne Schwierigkeit, dass das recente Klima, weil es sich an die bestehenden Zustände der Erdoberfläche anschliesst und von ihnen abhängt, entschieden ungleichförmiger und zugleich kälter sein muss, als jenes der alten Erdperioden, welche tellurische Zustände besaßen, die der Gleichförmigkeit des Klimas und zugleich der höheren Wärme günstig waren.

Dass dasselbe aber auch die fremdartigen Erscheinungen der Eiszeit abstreifen musste, ergibt sich aus der einfachen Thatsache, dass die anfängliche Beschaffenheit der Gebirge ihre

grössere Geschlossenheit, im Verlaufe der Eiszeit selbst durchbrochen wurde. Am nächsten steht das Clima der Gegenwart dem tertiären Clima, aber noch nicht dem der früheren und mittleren Tertiärzeit, sondern erst dem Ende derselben. In dieser Zeit waren die Zustände der Oberfläche der Erde mit denen der Gegenwart schon sehr nahe übereinstimmend.

Die Ansammlungen der Schneemassen auf den Gebirgen, durch welche später die Eiszeit sich auszeichnete, war erst im Werden und noch wenig vorangeschritten; sie erlangte ihren ganzen Umfang erst während der Eiszeit. Sobald dieselbe eine bedeutende Ausdehnung erlangt hatte, hört die Pliocänzeit auf und beginnt die Eiszeit. In jenem anfänglichen Stadium, das die Ansammlung der Schneemassen während der Pliocänzeit selbst erreichte, war deshalb auch die climatische Bedeutung derselben weniger stark. Heutzutage kann die Ansammlung keinen hohen Grad erreichen, wegen der Durchfurchung des Gebirges; in der Pliocänzeit war die Möglichkeit der Ansammlung zwar vorhanden, aber sie selbst hatte thatsächlich noch keinen hohen Grad erreicht, so dass die climatische Einwirkung derselben in beiden Zeitaltern ungefähr als gleich stark betrachtet werden kann.

Wir glauben, dieses Capitel nicht abschliessen zu sollen, ohne eine spezielle Vergleichung mit der Theorie von Professor Sartorius von Waltershausen in ihren Hauptpunkten zu geben. Wir sparen diese Vergleichung bis an den Schluss, weil bei jeder wichtigen Phase der Entwicklung des tellurischen Climas sowohl eine Uebereinstimmung als auch eine Divergenz der beiderseitigen Auffassungen hervorzuheben ist.

Sartorius von Waltershausen hat das bedeutende Verdienst, dass er die climatischen Verhältnisse der Erde principiell und consequent als von den tellurischen Verhältnissen abhängig und durch dieselben hervorgerufen, auffasst. Diese Grundlage wird unseres Erachtens nicht mehr verlassen werden können. Niemand wird von Sartorius abweichen können in der Auffassung, dass den alten Erdperioden eine sehr vorherrschend oceanische Beschaffenheit und somit auch ein oceanisches Clima zu eigen gewesen sei. Desgleichen wird Niemand Anstand nehmen, für die ältesten Erdperioden einen bescheidenen Zuwachs der Temperatur durch die Wirkung des Erdinnern anzunehmen. Ferner kann es keinem Anstand unterliegen, dass (l. c. S. 151—153) ein Wärmetransport durch Winde und Niederschläge, sowie durch Meeresströmungen stattgefunden habe, und hiedurch die Temperatur der hohen Breiten gemildert worden sei. Dass auch die Bewölkung einen Einfluss auf die Verminderung der Schwankung der Temperatur ausgeübt habe, dürfte ohne Anstand bejaht werden. Sartorius, dem noch keine thermographischen Tabellen zu Gebot standen, schätzt den Einfluss derselben nur auf 1,70 R., offenbar zu wenig. Er nimmt jedoch nur eine Ausgleichung der Temperatur-

schwankungen durch Bewölkung an und nimmt keine Rücksicht darauf, dass diese Ausgleichung zu Gunsten der Wärme ausfalle. Leider sieht sich Sartorius bei der numerischen Behandlung dieser Factoren auf eine Schätzung angewiesen, die man nicht anders als eine willkürliche bezeichnen kann.

Um nun das Clima der Silurzeit in mittleren Breiten (45°) zu berechnen, legt er (l. c. S. 153) das reine Seeclima jener Breiten mit $10^{\circ},69$ R. zu Grunde, addirt hiezu den Zuschuss der inneren Erdwärme mit $3^{\circ},20$ R. (für jene Zeit); ferner einen Zuschuss durch Transport der Winde und Niederschläge mit 1° R. und durch Meeresströmungen mit 2° R., so dass er für die silurische Zeit in mittleren Breiten eine Temperatur von $16^{\circ},89$ R. erhält.

Für mittlere Breiten ist diese Ziffer wohl zufriedenstellend wie auch der Werth der Temperatur, der von ihm für den Aequator gefunden wird, mit 24° , 24 R. Allein für die höheren und höchsten Breiten lässt sich das nicht sagen. Offenbar hat Sartorius in jenen Werthen, welche er zu der Temperatur des reinen Seeclimas addirt, Gegenstände aufgenommen, welche unter sich ziemlich ungleichartig sind. Die innere Erdwärme giebt für alle Breitengrade ohne Zweifel den gleichen Wärmezuschuss ab. Ob aber auch die Meeresströmungen und Winde in allen Breitengraden gleich wirken oder ungleich und wie? — darüber spricht sich Sartorius nicht ganz bestimmt aus. Er spricht nur von einer der Zeit (Formation) proportionalen Abnahme derselben (l. c. S. 155). Es müssen sich somit ihm ganz andere Zahlen ergeben, als bei der Annahme, die wir gemacht haben, dass nämlich die Zunahme und Abnahme der Temperatur unter verschiedenen Breitengraden durch den Einfluss der Bewölkung sich gerade so verhalte wie der Einfluss des reinen Seeclimas gegenüber dem Normalclima. Das Resultat für Sartorius ist, dass er für die Silurzeit eine Temperatur der Pole von $9^{\circ},54$ R. berechnet. Gegenüber den mittleren Breiten ergibt sich somit nach seiner Unterstellung schon in jener frühen (silurischen) Zeit ein Temperaturunterschied von $7^{\circ},35$ R. und gegenüber dem Aequator eine Differenz von $14^{\circ},70$ R. Ein so namhafter Unterschied würde aber offenbar schon eine nicht zu verkennende zonenweise Abstufung des Climas schon in jener frühen Periode in sich schliessen, womit die paläontologischen Beobachtungen nicht im Einklang stehen. Auch ist eine Temperatur von nur 9° oder 10° R. in den hohen Breiten für den typischen Charakter der Organismen jener Zeit offenbar zu niedrig.

Noch weniger entsprechen die von Sartorius berechneten Temperaturen für die späteren Erdperioden. Die Juraformation hätte nach ihm an den Polen nur noch $+ 2^{\circ},13$ R., die Tertiärformation daselbst nur $+ 0^{\circ},93$ R. Gegen solche Temperaturen legen die Paläontologen auf Grund reeller Untersuchungen entschieden Protest ein (cf. Heer: Polarflora I, S. 73 und 76).

Wenn wir Sartorius in der Zugrundlegung des reinen Seeclimas überhaupt gefolgt sind, so konnten wir ihm nicht oder nur mit wesentlichen Modificationen folgen in der Bemessung jener Werthe, welche er zu der Temperatur des reinen Seeclimas hinzufügt.

Es wurde von uns die Annahme einer constanten Dunsthülle von den Tropen polwärts eingeführt, und ausgeführt (Art. 3), dass dieselbe in ganz homologer und harmonischer Weise wirke, wie das oceanische Clima selbst, nur eine Verstärkung desselben bewirke und in einer einfachen Proportion zu demselben stehe. Um den Betrag des Wärmezuwachses durch dieselbe zu eruiren, wurde ein doppelter Weg eingeschlagen, nämlich zuerst mit Grundlegung der Scala der mittleren Jahrestemperaturen (Tabelle II) und sodann mit Grundlegung der Schwankungsamplituden (Tabelle III, IV und V). Auf beiden Wegen wurde für die alten Perioden zu einer Temperaturscala gelangt, welche an sich schon in ihren Hauptzügen den Anforderungen der Paläontologie befriedigend entsprechen dürfte; überdies wurde noch eine Emendation durch einen sehr mässigen Zuschuss der Wärme von Seiten des Erdinnern und einer dichterem Atmosphäre für die alten Perioden hinzugefügt.

Das Tertiärclima mit seiner grösseren Differenzirung der Temperaturen wurde als in Uebereinstimmung befindlich mit diesen Principien dargestellt.

In Betreff des Quartärclimas geht Sartorius von der unseres Erachtens ganz richtigen Auffassung aus, dass die niedrige Temperatur dieser Periode (in der Ausdehnung der Gletscher sich manifestirend) nicht von universeller, sondern nur von localer Beschaffenheit sei und durch die Erhebung der Gebirge sich erklären lasse. Er nimmt dabei eine Höhe der Gebirge während der Quartärzeit an, welche die jetzige Höhe derselben um ebensoviel übertraf, als die Temperatur jener Zeit niedriger war als die jetzige. Was den letzteren Punkt anbelangt, so konnten wir Sartorius darin nicht folgen. Es wurde vielmehr auf die unvermeidliche Ansammlung der Schneemassen in dem noch nicht oder jedenfalls weniger zerstückelten jungen Gebirge hingewiesen, welche Annahme die Erscheinungen der Quartärzeit ebenso gut erklären dürfte, als die immerhin gewagte Annahme von Sartorius.

Was sodann das recente Clima anbelangt, so kommt Sartorius zu dem gleichen Resultat wie wir, sofern er das Clima der Gegenwart als ein solches betrachtet, in welchem eine Rückkehr von den climatischen Ausschreitungen der Quartärzeit sich vollzieht; nur sind die Wege verschieden. Sartorius nimmt ein Zurücksinken der Gebirge von der Höhe derselben zur Quartärzeit an. Unsere Ansicht haben wir dahin entwickelt, dass die Ansammlung der Schneemassen auf den Gebirgen und ihre schliessliche Entladung wohl eine gewaltige, aber doch nicht eine bleibende climatische Wirkung hervorbringen konnte, dass aber dieser

Einfluss allmählich hinschwinden musste, als die Möglichkeit einer längeren Ansammlung der Schneemassen im Innern der Gebirge durch Bildung und Vervielfältigung der Querthäler beseitigt war und die Schneemassen durch Gletscher fortgeführt wurden. Die Eiszeit erreichte zwar jetzt erst extensiv durch das weite Vordringen der Gletscher ihren Höhepunkt, aber gleichzeitig wurden ihre Hilfsquellen im Gebirge selbst geschwächt und erschöpft. Die zu weit vorgeschobenen Eismassen, welche durch mechanischen Druck von dem tiefeingeschnittenen Gebirge herab, nicht durch die eigenen climatischen Zustände der Ebene sich hier eingefunden hatten, konnten der einheimischen höheren Temperatur der Ebene nicht auf die Dauer Stand halten; die Position musste aufgegeben werden und die Gletscher mussten sich, nicht ohne Schwankungen, allmählich in die Hochthäler der Gebirge zurückziehen.

Das Resultat all' dieser Entwicklungen und Vorgänge auf der Oberfläche der Erde ist das Clima der gegenwärtigen Erdperiode.

II. Abtheilung.

Ueber die Modificationen und Wechselbeziehungen der climatischen Entwicklung.

In der vorhergehenden Abtheilung I wurde der Versuch gemacht, die Beschaffenheit des Clima's der alten geologischen Periode auf rein telurische Grundlagen, nämlich auf die oceanische Warmwasserheizung, verstärkt durch constante Bewölkung in mittleren und höheren Breiten, zurückzuführen und von ihnen abzuleiten. Die beiden namhaft gemachten Factoren wurden durch das allmähliche Auftauchen der Festländer mehr und mehr geschwächt und dadurch das Clima der Erdoberfläche so verändert, dass, nach Ueberwindung der sogenannten Eiszeit, schliesslich sich das heutige Clima einstellte.

Das reine Seeclima der Gegenwart hat, wenn auch abgeschwächt, bis heute noch die wesentlichen typischen Züge der alten Climate bewahrt, grössere Gleichförmigkeit und Wärme, und es bedurfte nur einer näheren Darlegung und Begründung einer Verstärkung des reinen Seeclima's, um einen bestimmten Ausdruck der Temperatur für alle Breitengrade zu gewinnen, welcher den climatischen Verhältnissen der verflossenen Perioden gut entspricht. Die allmählich auftauchenden und wachsenden Continente aber stellten sich als die Ursache der excessiven Temperaturen dar, wie sie dem heutigen Clima zukommen.

Ein so wichtiger und tiefgreifender Vorgang, wie die Umänderung des Klimas, vollzieht sich jedoch nicht als eine in sich ganz abgeschlossene und isolirte Erscheinung und wird auch nicht überall in ganz gleicher Weise vor sich gehen, sondern wird im Zusammenhang, in Wechselwirkung mit anderweitigen Erscheinungen stehen und kann auch da und dort belangreiche Modificationen erleiden. Es wird ein Prüfstein für die Richtigkeit oder Unrichtigkeit der principiellen Auffassung der climatischen Frage sein, wenn auch die wichtigsten Modificationen der climatischen Entwicklung und die wichtigsten begleitenden Erscheinungen zur Erklärung und Beleuchtung aus dem geltend gemachten principiellen Standpunkte herbeigezogen werden.

In erster Reihe stellt sich hier die merkwürdige Modification des Climas der südlichen Halbkugel dar, die bei ihrer sehr ausgedehnten Meeresbedeckung eine im Mittel höhere und gleichförmigere Temperatur haben sollte, als die nördliche Halbkugel, aber, auffallender Weise eine, wenn auch gleichförmigere, doch niedrigere Temperatur besitzt, besonders in mittleren und höheren Breiten. Sodann werden zu betrachten sein eine Reihe von Erscheinungen, meist geographischer Natur, durch welche die Wechselwirkung zwischen Klima und Oberflächen-gestaltung sich kundgiebt.

Mit dem Klima der südlichen Hemisphären beschäftigt sich das erste Capitel; die geographischen Erscheinungen, Senkungen und Hebungen, bilden den Inhalt des zweiten und dritten Capitel. Im vierten Capitel wird der Versuch gemacht, auch die Zeit der Erhebung der Continente und der hohen Gebirge aus dem gleichen Princip abzuleiten.

Erstes Capitel.

Das Klima der südlichen Hemisphäre.

1. Artikel.

Die Untersuchungen über dasselbe von Sartorius und Hann.

Da auf der südlichen Halbkugel die Meere eine beträchtlich grössere Ausdehnung als auf der nördlichen haben, so sollte, nach ganz allgemein anerkannten Grundsätzen, daselbst auch ein oceanisches Klima vorherrschen, oder das Klima sollte dort nicht blos gleichförmiger sondern auch, besonders in mittleren und hohen Breiten, zugleich wärmer sein. Eine grössere Gleichförmigkeit ist vorhanden, denn die Isothermen des Juli und Januar verlaufen hier weniger gekrümmt als auf der nördlichen Halbkugel (cf Wettstein: Die Strömungen der Feste etc. Charte 19—20). Allein die südliche Halbkugel ist, besonders in mittleren und hohen Breiten, anerkannt und deutlich weniger warm, als die nördliche, was besonders von dem reinen Seeclima gilt. Sartorius von Waltershausen hat, nach der Methode der kleinsten Quadrate, das reine Seeclima beider Hemisphären berechnet¹⁾ und wird eine klare Einsicht in diese Verhältnisse durch eine Gegenüberstellung der Ziffern der betreffenden Tabellen zu gewinnen sein.

¹⁾ Untersuchungen über die Climate der Gegenwart und Vorwelt S. 124.

Breitegrad.	Reines Seeclima der nördlichen Hemisphäre.	Reines Seeclima der südlichen Hemisphäre.	Geringere Wärme der südlichen Hemisphäre.
0°	21°,14 R.	21°,14 R.	—
10°	20°,89	20°,03	0°,86 R.
20°	19°,14	17°,62	1°,72
30°	16°,17	14°,19	2°,51
40°	13°,33	10°,10	3°,23
50°	9°,68	5°,83	3°,85
60°	6°,20	1°,86	4°,34
70°	3°,36'	— 1°,37	4°,73
80°	1°,49	— 3°,46	4°,95
90°	0°,84	— 4°,19	5°,03

Wie die Tabelle zeigt, ist das reine Seeclima der südlichen Halbkugel durchgängig kälter, als das der nördlichen. Bei genauerer Betrachtung fällt aber auf, dass die Temperatur nach dem südlichen Pole hin constant eine stärker wachsende Abnahme zeigt als gegen den Nordpol; der Unterschied besteht nicht darin, dass die Temperatur der Südhälfte auf jede Decade von Graden um einen gewissen überall gleichbleibenden Werth geringer ist, als die der nördlichen, sondern die charakteristische Eigentümlichkeit der Wärmevertheilung besteht darin, dass die Abkühlung auf der südlichen Hemisphäre nicht bloß einfach, was selbstverständlich ist, sondern auch gegenüber der nördlichen Halbkugel, von Decade zu Decade gegen die Pole hin sich steigert.

Eine solche Wärmeabstufung weist mit Sicherheit auf ihre Ursache hin. Sartorius drückt sich darüber kurz, aber mit Bestimmtheit, aus (l. c. S. 142 und S. 144): »Dass die niedrige Temperatur des Seeclimas der südlichen Erdhälfte nur die Folge eines bis jetzt wenig bekannten Continents sein könne; eine vollständige Meeresbedeckung kann einen solchen Einfluss nicht ausüben.«

Jedenfalls kann es sich hier nicht um einen geringeren Wärmeempfang wegen ungünstigeren Standes der Sonne auf dieser Seite der Erde handeln. Wenn letzteres der Fall wäre, so müsste jeder Breitegrad diesen absoluten Minderempfang (hervorgebracht durch das verkürzte Sommer- und verlängerte Wintersemester der ganzen Halbkugel), durch den constanten Abmangel eines gewissen in allen Breiten gleichbleibenden Betrags Wärme zu erkennen geben. Das trifft aber nicht zu, sondern wie die Radien eines Kreises auf ihren Mittelpunkt, so weisen die gegen den Pol stetig wachsenden Ziffern der Temperaturabnahme auf eine

im Polarkreise selbst befindliche Ursache dieser Erscheinung hin und dieselbe kann nichts anderes sein, als der antarctische Continent. Die äusserst ungünstige Position jenes Continents, der in centraler Lage am Pol fast den ganzen Polarkreis ausfüllt, erzeugt, wie allgemein anerkannt ist, gewaltige Kälteproducte, welche derselbe allseitig und ungehindert als schwimmendes Eis in das Meer abgiebt und damit die Temperatur des Meerwassers und zugleich das Insel- und Seeclima abkühlt bis auf die weiteste Erstreckung hin; je näher dem Herde der Kälte, desto fühlbarer. Im Sommer macht sich die Erniedrigung der Temperatur verhältnissmässig noch fühlbarer als im Winter, weil in jener Jahreszeit der Abschmelzungsprocess am lebhaftesten ist.

Auf der nördlichen Halbkugel walten nicht so ungünstige geographische Verhältnisse ob. Auch hier findet sich Land innerhalb des Polarkreises, aber die Landmassen sind anders vertheilt; sie liegen mehr auf der Peripherie als im Centrum, die Verbindung des nördlichen Eismeeres mit den übrigen Meeren ist mehr beengt, besonders zwischen America und Asien sehr wenig geöffnet, die Absendung der Eisberge und Schollen ist zum Theil auf sehr schmale Räume beschränkt (Behringsstrasse, Smithsund), die Kälteproducte selbst sind weniger massenhaft und somit der erkältende Einfluss auf die benachbarten Meere überhaupt geringer.

In neuester Zeit wurde das Clima der Südhemisphären zum Gegenstand einer neuen sorgfältigen Untersuchung von Prof. Hann in Wien gemacht¹⁾. Da der Verfasser der genannten Abhandlung in der Lage war, zum Theil ganz neue, zum Theil verbesserte Beobachtungen seinen Berechnungen zu Grunde zu legen, so ist seine Arbeit in hohem Grade verdienstlich. Die Berechnung selbst geschieht, wie bei Sartorius v. Waltershausen, nach der Methode der kleinsten Quadrate, aber seine gesammte Auffassung der Grundlage weicht von jener des Sartorius ab. Er bemerkt (S. 15), dass es doch nur ein Seeclima geben könne und dass die Inseln der nördlichen Hemisphäre durchgängig kein normales Seeclima besitzen, zu warm seien, während das Seeclima der Südhemisphäre, der »Wasserhalbkugel« sich viel besser dazu eigne, das reine Seeclima überhaupt darzustellen, deshalb als solches anzufassen sei.

Darüber wird man nun nicht streiten wollen, ob es nur ein Seeclima geben könne; allein jeder Ocean giebt doch in Wirklichkeit wieder andere Nuancen desselben, die unter einander zu vergleichen ein verdienstlicher Gedanke von Sartorius ist. Die Aufgabe wird ihren Schwerpunkt darin haben, sich die Grundsätze klar zu machen, die man in Anwendung bringen muss, um den störenden Einflüssen von Seite der Continente aus dem Wege zu

¹⁾ Ueber die Temperatur der südlichen Hemisphäre. Band 85 der Sitzungsberichte der k. Akademie der Wiss. II. Abth. Jahrgang 1882 S. 6.

gehen und dieselben, soweit möglich, zu eliminiren. Die Annahme von Hann, dass das Seeclima der (vorherrschenden) Wasserhalbkugel das ächtere Seeclima sei, ist zu unbestimmt; denn es kommt wesentlich darauf an, nicht bloß wieviel Land oder Wasser sich auf einer Halbkugel befinde, sondern auch in welcher geographischen Lage dasselbe vorhanden sei. In gewissen Lagen vermag ein Continent das Seeclima nur sehr wenig zu beeinflussen; in andern Lagen aber, bei unveränderter Grösse desselben, sehr stark. Eine Alteration des reinen Seeclimas durch erwärmende Einflüsse ist so viel wie gar nicht in Betracht zu ziehen. Wenn auch die fließenden Gewässer eines Continents in wärmeren Gegenden sich, durch Berührung mit dem Land, um einige Grad im Sommer mehr erwärmen und ihre erwärmten Gewässer in das Meer senden, so gleicht sich das vielfach durch ihre grössere Abkühlung im Winter aus und bleibt dieser Einfluss jedenfalls auf die Temperatur der Gewässer nahe an der Küste beschränkt, während die massgebenden Stationen für das reine Seeclima möglichst weit von der Küste entfernt gewählt werden. Hann findet das auch bestätigt, wenn er S. 19 bemerkt, dass auf der südlichen Halbkugel die Temperaturen der Landflächen, selbst zwischen dem Aequator und 40° südlicher Breite, keinen merklichen Einfluss auf die mittlere Temperatur der Breitenkreise haben.

Bei den Strömungen der Luft verhält es sich ganz übereinstimmend. Die Landwinde mögen im Sommer etwas zur Erhöhung der Temperatur des Meeres beitragen, aber im Winter kühlen dieselben den Meeresspiegel ab, können somit die mittlere Temperatur des Jahres nicht wesentlich ändern. Dagegen sind die Einflüsse im Sinne der Erkältung des Seeclimas durch die in sehr hohen Breiten befindlichen Landmassen sehr mächtig und wirken auf sehr weite Distanzen. Die spezifische Eigenthümlichkeit der Kälteproducte solcher Länder besteht darin, dass dieselben in einem andern Aggregatzustand, nämlich als Eis in das Wasser der offenen Meere übergehen und als solches ganz andere Anforderungen bei der Wärmeausgleichung stellen, als wenn sie in tropfbar flüssigem Zustande sich befinden würden. Ein Pfund Eis von 0°, vermischt mit ein Pfund Wasser von 79° C. gibt zwei Pfund Wasser von 0°. Es werden somit 79 Wärmeeinheiten verbraucht nur allein zur Aenderung des festen Aggregatzustandes. Während die Einflüsse der von den Continenten ausgehenden Wärme auf das Seeclima sehr schwach sind, weiss sich der Einfluss der Kälte, besonders da, wo mit dem Meere eine unmittelbare Verbindung besteht, durch schwimmende Eisberge und Eisschollen in sehr energischer Weise geltend zu machen. Um nur ein Beispiel hierfür anzuführen.

Neufundland hat in 47°,36 n. B. eine mittlere Jahrestemperatur von nur 4°,5 C. (Hann); Thorshaven (Faröer) aber hat in 62° n. B. eine mittlere jährliche Temperatur von 6°,3 (Hann).

Welche von diesen beiden so stark contrastirenden Stationen unterliegt nun einem störenden Einflusse? Bei Neufundland schmelzen die Eisberge von Grönland ab; hier ist der starke erkältende Einfluss der fernen nordischen Landmassen evident. Woher hat aber Thorshaven seine hohe Temperatur? Von dem Lande sicherlich nicht, sondern von dem Golfstrom. Das ist aber in Wirklichkeit doch nichts Anderes, als die vom Lande unbeeinflusste eigene warme Temperatur des Meeres selbst.

Wenn auch zugegeben ist, dass das Meer ausserhalb des Golfstromes nicht die gleiche Wärme besitzt, so ist andererseits auch nicht in Abrede zu stellen, dass selbst der Golfstrom sich dem Einflusse der continentalen Kälteproducte keineswegs ganz zu entziehen vermag, dass somit das die Küsten der Faröer bespülende und ihr Klima bestimmende Wasser die wirkliche ächte Temperatur des Meeres jener Breiten viel mehr annähernd darstellt, während die Temperatur von Neufundland weit davon abliegt.

Nach solchen Grundsätzen verfährt nun Sartorius in seinem Werke in Wirklichkeit, ohne gerade dieselben ausdrücklich zu formuliren. Bei seiner Auswahl der Stationen, die zur Berechnung des reinen Seeclimas die physicalische empirische Grundlage bilden, nimmt er die warmen Stationen, wenn nur die Inseln fern genug vom Land liegen, ohne Bedenken auf, schliesst aber die auffallend kalten Stationen, als solche, die den Einflüssen der Continente unterliegen, aus, und glaubt selbst auf diesem empirischen Weg den Einfluss der Continente im Sinne der Erkältung des Meerwassers noch nicht vollständig beseitigt zu haben (l. c. S. 126). Er nimmt jedoch bei beiden Halbkugeln den empirisch beobachteten Werth der Temperaturen an; nur schliesst er in beiden Halbkugeln die am meisten auffallend niedrigen Stationen, z. B. Neufundland auf der nördlichen und Kergueleninseln auf der südlichen Halbkugel aus. Genauer wäre allerdings zu sagen, dass Sartorius die Temperatur der Kerguelen (S. 121) mit Stillschweigen übergeht, sei es nun, dass ihm dieselbe überhaupt nicht bekannt war, oder unzuverlässig erschien, oder dass er dieselbe als zwar empirisch richtig, aber als zu sehr von continentalen Einflüssen heruntergedrückt, als unbrauchbar absichtlich ausschloss, oder dass mehrere Gesichtspunkte zusammenwirkten.

Wenn nun auf solcher Grundlage die Berechnung des reinen Seeclimas eine höhere Temperatur für die nördliche Halbkugel liefert, als für die südliche, so stellt und beantwortet Sartorius v. Waltershausen die interessante Frage: worin ist die Ursache dieser Differenz zu suchen? Spezieller, worin liegt die Ursache der deutlich grösseren Kälte der südlichen Hemisphäre? Sie liegt in der Existenz eines für die Entwicklung und Ausbreitung der Kälte sehr wirksam gelegenen Continents im antarctischen Polarkreise. Im Gebiete der nördlichen

Hemisphäre lässt sich der Einfluss der Continente noch annähernd auscheiden, sofern hier Stationen vorhanden sind, welche dem erkältenden Einflusse des Landes wenig ausgesetzt sind; auf der südlichen Halbkugel gelingt das nicht mehr, weil alle Stationen mehr oder weniger diesem erkältenden Einflusse unterliegen, selbst wenn auch die am meisten abgekühlten ausgeschlossen werden. Professor Hann aber nimmt ohne Bedenken die empirischen Grundlagen der südlichen Halbkugel, weil sie die grössere Wasserbedeckung hat, als normale an und betrachtet die abweichenden Temperaturen der nördlichen Halbkugel als anormal, als überhitzt, ohne einen Grund anzuführen, woher diese Ueberhitzung rühren könnte.

Wie schon oben bemerkt, hat Professor Hann weitere und verbesserte Temperaturbeobachtungen für seine Berechnung der Temperatur der Südhemisphäre benützt und gibt das Resultat derselben, das Seeclima der südlichen Hemisphäre, worauf er sich beschränkt, auf S. 22 seiner Abhandlung an.

Nach Umwandlung in Réaumur'sche Grade der Hann'schen Scala ergibt nun die Vergleichung derselben mit dem Seeclima der nördlichen Halbkugel nach den Angaben bei Sartorius folgende Ziffern:

Tabelle VII.

Breitegrad.	Nördliche Halbkugel nach Sartorius.	Südliche Halbkugel nach Hann.	Differenz zwischen beiden; Minderbetrag der südlichen Halbkugel.
0°	ist gemeinsam	ist gemeinsam	—
10°	20°,89 R.	20°,72 R.	0°,17 R.
20°	19°,34	18°,62	0°,72
30°	16°,70	15°,12	1°,58
40°	13°,33	10°,40	2°,93
50°	9°,68	5°,20	4°,48
60°	6°,20	0°,24	5°,96
70°	3°,36	— 3°,84	7°,20
80°	1°,49	— 6°,56	8°,05
90°	0°,84	— 7°,44	8°,28

Diese Zusammenstellung lässt die Abweichung zwischen dem Seeclima der Nord- und Südhemisphäre in typisch ganz übereinstimmender Weise hervortreten, wie die Tabelle VI. Auch hier steigert sich die Abkühlung gegen den Südpol zu stetig zu Ungunsten der südlichen Hemisphäre. Die Differenzen treten aber hier sogar noch bedeutend stärker hervor, was seinen Grund darin haben mag, dass Hann auch die ausnahmsweise kalten Stationen der

Kergueleninseln bei den Grundlagen seiner Berechnung aufgenommen hat, während Sartorius dieselben, wie schon oben bemerkt, ausgeschlossen hat.

Prof. Hann berechnet noch eine andere Temperaturscala aus oceanischen Stationen im strengsten Sinn (1 c. S. 20); dieselbe erstreckt sich vom 20° — 60° s. Breite; die Ziffern weichen aber von jenen die auf S. 22 ermittelt wurden, so unwesentlich ab, dass es nicht nöthig erscheint, dieselben hier noch besonders beizusetzen.

Etwas anders gestaltet sich die Sache, wenn nicht das reine Seeclima, sondern das Normalclima in Betracht gezogen wird. Unter Normalclima versteht Dove bekanntlich jene Summe von Wärme, welche auf einem Breitegrad (sowohl Land als Meer) wirklich vorhanden ist, aber ungleich vertheilt ist. Prof. Hann weist nun nach, dass das Normalclima auf beiden Halbkugeln im mittleren Durchschnitt wahrscheinlich nahezu gleich ist. Allein das ist in der That nur ein weiterer Beleg dafür, dass das Clima der Südhemisphäre in der That eine Anomalie in sich schliesst. Da nämlich die Südhemisphäre thatsächlich beträchtlich mehr Seebedeckung hat, als die nördliche, die, besonders in höheren und hohen Breiten, weitgedehute Landmassen aufweist, so sollte, nach allgemein anerkannten Grundsätzen, die südliche Halbkugel nicht bloß ein gleichförmigeres, sondern auch ein wärmeres Normalclima, wenigstens in mittleren und hohen Breiten haben. Ihre vorherrschende oceanische Beschaffenheit müsste auch das Normalclima in der Richtung beeinflussen, dass dasselbe im Durchschnitt höher wäre, als das der anderen Halbkugel und nicht bloß ihm nahezu gleich. Da dies aber nicht der Fall ist, so muss noch irgend ein anderes Hinderniss entgegengetreten. Auch das Normalclima der Südhemisphäre weist somit auf einen Factor hin, der, wenn auch räumlich nicht sehr gross, sich doch in einer geographischen Position befindet, von welcher aus derselbe das Clima der ganzen Halbkugel auf sehr wirkungsvolle Weise beeinflusst und seine Temperatur herabdrückt. Dies kann aber Nichts anders sein, als der antarctische Continent. Man kann den antarctischen Continent einen hypothetischen nennen, weil derselbe in seinem Innern noch gar nicht erforscht ist, selbst seine Umrisse theilweise problematisch sind; aber derselbe erweist sich in seinen climatischen Einflüssen auf die ganze Hemisphäre als eine wirklich vorhandene Macht, die von Sartorius nach unserm Dafürhalten mit richtigem Blick gewürdigt wurde.

Die Auffassung dieses um die Beleuchtung der climatischen Entwicklung sehr verdienten Gelehrten fand jedoch nicht die Beachtung und Zustimmung, welche dieselbe nach unserem Ermessen verdient. In neuester Zeit wird vielmehr wieder mit Vorliebe auf jenen astronomischen Standpunkt zurückgegriffen, der in der Hauptsache von Adhèmar aufgestellt wurde.

2. Artikel.

Der Adhèmar'sche Standpunkt.

Dieser französische Mathematiker wies im Jahre 1842 darauf hin, dass wegen der Excentricität der Erdbahn die zwischen den beiden Aequinoctien liegenden Jahresabschnitte nicht gleich lang seien und das gegenwärtig auf die Südhemisphäre entfallende Wintersemester (Aphel) länger, ihr Sommerhalbjahr (Perihel) dagegen kürzer sei, als auf der Nordhemisphäre, auf welcher die umgekehrten Verhältnisse stattfinden. Die Nachtstunden, Zeiten der Ausstrahlung der Wärme, betragen gegenwärtig auf der südlichen Halbkugel zusammengerechnet 4464 Stunden; die Tagesstunden, Zeiten des Wärmeempfangs, nur 4294. Auf der südlichen Halbkugel ist somit die Zeit des Wärmeempfangs gegenwärtig um 170 Stunden oder ungefähr 7 Tage kürzer, als die Zeit der Wärmeausstrahlung. Die Differenz ist hiernach gegenwärtig nicht sehr bedeutend, kann sich aber nach der Berechnung von Leverrier so steigern, dass ein Maximalbetrag von 36 Tagen sich herausstellen kann. Auf der andern Halbkugel findet eine Umkehrung der Ziffern statt, weil hier der Sommer in das längere Aphel, der Winter aber in das kürzere Perihel fällt. In Halbperioden von 10,500 Jahren wechseln dieselben für die beiden Hemisphären. Dies die Hauptpunkte der Theorie.

Wenn nun die Sache so einfach liegen würde, dass ein absoluter Unterschied (zwischen den Zeiten der Wärmeausstrahlung und des Wärmeempfangs) auf den beiden Hemisphären nicht bloß in Bezug der Länge der Zeit, sondern überhaupt Alles in Allem genommen, bestände, so könnte man ohne Bedenken sagen: weil gegenwärtig der Südhemisphäre der längere Aphelwinter und kürzere Perihelsommer zukommt, der Nordhemisphäre aber umgekehrt der längere Aphelsommer und kürzere Perihelwinter, so muss die erstere (Südhemisphäre) kälter sein, als die letztere. Man müsste dann diesen Standpunkt als einen solchen anerkennen, welcher die vielfach so räthselhaften climatischen Erscheinungen in den früheren geologischen Perioden zu beleuchten geeignet sein könnte und sogar schliesslich zugleich den Schlüssel in die Hand geben könnte, um für die Zeitdauer der geologischen Formationen absolute Ziffern ausfindig zu machen.

Aber die Sache liegt anders. Wenn das Wintersemester der südlichen Hemisphäre auch strenger und länger ist, die Zeit der Wärmeausstrahlung daselbst eine längere Dauer hat (Aphel), so ist dafür das Sommersemester daselbst zwar kürzer der Zeit nach, aber wegen der grösseren Sonnennähe um so heisser und zwar in der Weise, dass nach Vollendung des ganzen Jahres eine vollständige Compensation eintritt. Der gesammte Betrag des

Wärmeempfangs während des ganzen Jahres ist auf beiden Halbkugeln genau gleich. (Lambert'sche Theorem). Darüber sind die Mathematiker einig; nur soviel kann und muss zugegeben werden, dass eine ungleiche Vertheilung der Wärme in den verschiedenen (einander correspondirenden) Jahreszeiten oder Monaten des Jahres auf der einen und auf der andern Halbkugel stattfindet. Arago sagt darüber im 4. Band seiner populären Astronomie S. 462: »Werden alle Umstände in Rechnung genommen, so ergibt sich eine vollständige Compensation; man findet, dass die Sonne trotz der Verschiedenheiten ihrer Entfernung doch beiden Halbkugeln genau die gleiche Wärmemenge spendet; also nicht in einem astronomischen Umstande, der mit der elliptischen Form der Sonnenbahn zusammenhängt, nicht in der Verschiedenheit der Entfernungen dieses Gestirns von der Erde haben wir den Grund zu suchen für die Ungleichheiten der mittleren Temperatur der beiden Erdhalbkugeln. Ich wiederhole nochmals, fährt Arago fort, 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.«

In gleichem Sinn äussert sich J. Herschel, dessen Aeusserung wir aus einer Abhandlung von Pilar¹⁾ entlehnen: »John Herschel befasste sich schon 1832 eingehend mit der Discussion dieser astronomischen Ursachen (der Ungleichheit der Temperatur auf beiden Erdhälften), kam aber damals zu dem Resultate, dass eine Veränderung der Excentricität der Erdbahn von keinem Einfluss auf die Temperatur der Erdhälften sein könne, da die Wärmemenge, welche die Erde von der Sonne erhält, in jedem Theile ihrer Bahn im Verhältniss steht zu dem Winkel, den die Erde zum Sonnenmittelpunkt beschreibt. Im Laufe seiner späteren Arbeiten kam J. Heerschel zur Ueberzeugung, dass grosse Veränderungen der Excentricität der Erdbahn dennoch von einem beträchtlichen Einfluss auf die climatischen Verhältnisse der Erdhälften sein müssen, da sie doch direct auf den Charakter der Jahreszeiten einwirken. Wenn bei grosser Excentricität der Erdbahn die Lage des Perihels dieselbe bleibt wie gegenwärtig, so würde man auf der nördlichen Halbkugel einen kurzen und milden Winter und zugleich einen langen und kälteren Sommer haben; die Gegensätze der Temperaturen würden sich ausgleichen: die südliche Halbkugel aber wäre benachtheiligt und minder bewohnbar durch die grosse Temperaturdifferenz zwischen dem kurzen und heissen Sommer in der Sonnennähe und dem kalten langen Winter in der Sonnenferne. Da aber dieser Zustand von keiner Dauer ist, sondern in einem Zeitraum von circa 11,000 Jahren stets in sein Gegentheil übergeht, so

¹⁾ Ein Beitrag zur Frage über die Ursache der Eiszeit. 1876. S. 49.

ist es sehr wahrscheinlich, dass die von der Geologie constatirten zahlreichen Wechsel der Temperatur und der Climate, in einer Beziehung wenigstens, auf diese Ursachen zurückzuführen sind.«

Wenn nun diese Aeusserung J. Heerschels so aufgefasst wird, als ob ein Unterschied im Wärmecmpfang des ganzen Jahrs stattfinde, so ist das sicher ein Missverständniss. Es ist theoretisch richtig, dass bei grosser Excentricität die Jahrszeiten der einen Halbkugel (mit dem Aphelwinter) mehr excessiv verlaufen müssen, somit unangenehmer, stürmischer, für den Anbau mancher Früchte etc. weniger geeignet oder, wie Heerschel sagt, »weniger bewohnbar« sind, aber die mittlere Jahreswärme, der mittlere Wärmecmpfang des Jahres ist gleich; und um letzteres allein handelt es sich hier. Heerschel weicht in der That darin von Arago nicht ab. Letzterer drückt sich nur schärfer und entschiedener aus; ersterer (Heerschel) will ein Zugeständniss an die Adhémarsche Theorie nicht gänzlich von der Hand weisen, aber auch sein Zugeständniss bezieht sich nur auf den »Charakter der Jahreszeiten«, auf den grösseren Contrast der Jahreszeiten unter sich, nicht auf die mittlere Wärmemenge des ganzen Jahres selbst. Das ist nur ein geringes Zugeständniss, dem überdies die erfahrungsmässigen Temperaturbeobachtungen besonders auf der Südhemisphäre nicht einmal zur Seite stehen. Wollte man nämlich die Resultate dieser theoretischen Auffassung practisch verwerthen und dieselben mit den wirklichen bestehenden Temperaturbeobachtungen der Südhemisphäre und Nordhemisphäre vergleichen, so würde genau das Gegentheil derselben sich ergeben. In der That sind nicht die Wintertemperaturen der südlichen Erdkugel als Ganzes betrachtet, excessiv kalt, wie sie sein müssten nach dieser Theorie, sondern gelind; ¹⁾ dagegen aber sind die Sommertemperaturen der Südhemisphäre, die nach der obigen theoretischen Auffassung hoch sein müssten, daselbst in der That viel zu niedrig.

Selbst die oceanischen Inseln, deren Temperatur Hann anführt, zeigen auf der Nordhemisphäre viel stärkere Temperaturschwankungen des wärmsten und kältesten Monats, als die ungefähr gleich situirten Inseln der südlichen Hemisphäre, während doch theoretisch das Gegentheil stattfinden sollte. Wir heben nur ein einziges Beispiel hervor, das in wirklich charakteristischer, fast extremer Weise die climatischen Zustände der Südhemisphäre nach verschiedenen Seiten zu illustriren geeignet ist. Die Kergueleninseln liegen unter c 49° südlicher Breite und haben eine mittlere Jahrestemperatur von 4°,3 C.; der wärmste Monat zählt 7°,0 C, der kälteste + 2°,0 C. (Hann 1 c. S. 14). Man sieht hier ausser der sehr geringen

¹⁾ F. Hann I. c. S. 18. 19. Es wird daselbst die Temperatur oceanische Inseln sowohl der nördlichen als südlichen Hemisphäre tabellarisch angegeben.

mittleren Jahrestemperatur eine sehr grosse Gleichförmigkeit der Jahreszeiten beziehungsweise des wärmsten und kältesten Monats, deren Differenz nur 5° C. beträgt; ferner eine sehr geringe Sommerwärme, aber einen gelinden Winter; das sind in allweg vollendete Gegensätze gegen die theoretischen Aufstellungen der Anhänger Adhémars, wie sie gegenwärtig in Folge der Excentricität auf der südlichen Halbkugel stattfinden sollten. Prof. Hann nimmt ebenfalls Act von diesen Temperaturverhältnissen und äussert sich auf S. 2 seiner Schrift: »es ist dies eine ganz auffallend niedrige Jahrestemperatur für den 49° und zwar ist es die Sommertemperatur von nur $6^{\circ},4$ C. (etwas geringer als die Temperatur des wärmsten Monats, die oben angeführt wurde), welche diese Anomalie hervorbringt, während eine Wintertemperatur von c. $+ 2^{\circ}$ gemässigt genannt werden kann.«

Nicht minder befremdend ist die Thatsache, dass die excessivsten Schwankungen der Temperatur mit der strengsten Winterkälte auf die Nordhalbkugel fallen. Hier sollten, wenn die Adhémars'sche Theorie mit den wirklichen Verhältnissen übereinstimmen würde, gelinde Wintertemperaturen vorhanden sein, weil das sonnennahe und kürzere Semester (Perihel) gegenwärtig mit dem Winter der Nordhalbkugel zusammentrifft. Dagegen finden sich hier thatsächlich die eigentlichen Kältepole sowohl im nördlichen America als im nördlichen Asien, begleitet, selbst in hohen Breiten, von überraschend warmen Sommern (Sibirien und Canada). Europa hat allerdings ein mildes Clima mit schwachen Temperaturschwankungen, allein dieser Erdtheil ist geographisch eine Halbinsel von Asien und participirt somit, wie auch allgemein anerkannt ist, an den Eigenschaften des milden insularen Klimas. Ueberdies finden auf der nördlichen Halbkugel (62°) die grössten Temperaturgegensätze: Faröer und Jakutzk. Raum zu ihrer Existenz. Die Temperatur des antarktischen Continents selbst ist freilich gänzlich unbekannt.

Eine derartige Incongruenz mit den Beobachtungen ist misslich. Sie beweist nicht, dass die Adhémars'sche Auffassung theoretisch falsch sei, aber sie beweist, dass unter den Factoren, welche das Clima bestimmen, und wären es auch nur, was die Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten und Monate anbelangt, die Folgen der Excentricität durchaus nicht in erster Reihe stehen, sondern in concreto so schwach sind, dass sie von anderen Factoren leicht ganz verdeckt und vielfach sogar in ihr Gegentheil verkehrt werden.

In der That ist auf der Südhalbkugel der mehr maritime Charakter und auf der Nordhalbkugel der bestehende mehr continentale Charakter derselben weit mehr ins Gewicht fallend bei der concreten Gestaltung des Klimas und macht sich empirisch allein geltend, ungeachtet ihm theoretisch die Einflüsse der Excentricität direct entgegengesetzt sind. Die gelinden Winter der oceanischen Inseln in den südlichen Meeren haben offenbar in der stark

hervortretenden oceanischen Beschaffenheit der ganzen Hemisphäre ihren Grund: ihre sehr kühlen Sommer sind auf das massenhafte Abschmelzen des Eises vom Rande des antarctischen Continents in dieser Jahreszeit zurückzuführen. Auf der mehr mit festem Land ausgestatteten Nordhalbkugel treten andere climatische Erscheinungen auf. Weil dieselbe weniger maritim ist, so haben selbst die Inseln vielfach kältere Winter und weil auch die Abschmelzung des Eises der arctischen Länder im Sommer weniger massenhaft ist, so sind ihre Sommer wärmer. Die oceanischen Inseln der Nordhalbkugel und überhaupt die ganze Nordhalbkugel haben empirisch stärkere Schwankungen der Temperaturen trotz ihres theoretisch kurzen und milden Perihelwinters und längeren aber kühleren Aphelsommers; die südliche Halbkugel aber hat trotz ihres theoretisch längeren und strengeren Aphelwinters, empirisch mildere Winter und durchaus keine heissen, sondern sehr kühle Sommer, wenigstens auf den dem Eisgang ausgesetzten Inseln. Das sind die realen Zustände.

Allerdings ist die Excentricität heutzutage nur eine ganz mässige, und, wenn dieselbe eine höhere Stufe erreicht, könnte in sich auch für die Beobachtung fühlbarer machen; allein es bleibt sehr fraglich, ob sie je den Einfluss einer vorherrschend continentalen oder maritimen Beschaffenheit einer Halbkugel ausgleichen oder gar überbieten könne. Aber auch einen solchen Einfluss noch als möglich zugestanden, so würde doch der Wärmeempfang des ganzen Jahres immer der gleiche bleiben auf beiden Hemisphären, wenn auch auf die Monate verschieden vertheilt. Nur in einem Falle dürften die Einflüsse der Excentricität auf die Vertheilung der Wärme der Jahreszeiten sich in der Wirklichkeit wahrnehmbar machen, wenn nämlich eine vollständige Gleichförmigkeit der Erdoberfläche, sei es nun vollständige Meeresbedeckung oder vollständige Festlandbildung bestünde. In diesem Falle würden je nach Maassgabe und Stärke der Excentricität auch die Sommer und Winter beider Hemisphären den entsprechenden Charakter empirisch wahrnehmbar an sich tragen, wenn auch schliesslich der Wärmeempfang des ganzen Jahres sich auch hier ausgleichen würde. So lange aber die Erdoberfläche einen gemischten Charakter hat, Land und Meer und diese zudem in sehr ungleicher Vertheilung und Position in den beiden Erdhalbkugeln sich befinden, so überwiegt dieser viel stärkere Einfluss jenen der Excentricität so stark, dass derselbe als empirisch nicht vorhanden anzusehen ist.

In der That kann man auch nicht umhin, zuzugestehen, dass ein directer Einfluss der Excentricität auf das gesammte gegenwärtige Clima nicht vorhanden sei; es wird desshalb von mehreren Schriftstellern der Versuch gemacht, einen thatsächlichen, wenn auch indirecten Einfluss aus der Lage der Calmen abzuleiten.

Die mittlere Lage der Calmen im Atlantischen und Stillen Ocean fällt nicht auf den geographischen Aequator, sondern ist immer um mehrere Grade auf die nördliche Halbkugel übergeschoben und fällt ziemlich genau mit dem Wärmeäquator zusammen. Das wird als eine thatsächliche, wenn auch indirecte Folge davon betrachtet, dass die südliche Halbkugel gegenwärtig den längeren (Aphel) Winter habe, die nördliche aber den längeren (Aphel) Sommer. Man wird keinen besondern Werth darauf legen dürfen, dass es an sich difficult sein möchte, eine indirecte Wirkung noch festzuhalten, nachdem die directe Wirkung principiell aufgegeben worden ist. Aber abgesehen hiervon, darf bei dem Studium über die Lage der Calmen doch der dritte grosse Ocean, der Indische, nicht ausser Betracht gelassen werden. Wenn dieselbe in irgend welcher directen oder indirecten Weise abhängen würde von dem Sonnenstand, der offenbar die ganze Hemisphäre beeinflussen muss, so müsste auch dieser Ocean die entsprechenden Erscheinungen zeigen; die Calmen müssten auch hier das ganze Jahr über auf die Nordseite, über den Aequator hinüber fallen. Das ist nun aber nicht der Fall. Die Lage derselben schwankt hier vielmehr so, dass dieselben im Juli ca. 20° nördlich vom Aequator liegen und im Januar nahezu ebenso weit südlich vom Aequator (cf. Wettstein: Strömungen etc. Charte 15 und 16, Seite 276). Wettstein bringt die stark schwankende Lage derselben unbedenklich in Zusammenhang mit der Lage des Strichs der höchsten Temperatur, welche im Juli selbstverständlich im Norden des Aequators und im Januar im Süden desselben sich befindet. Es erscheint somit nicht so fast die Lage der Calmen im Indischen Ocean, als vielmehr die Lage derselben im Atlantischen und Stillen Ocean als eine in der That anomale, die aber nach Allem, was bisher schon erörtert wurde, nicht auf die Excentricität der Erdbahn zurückzuführen ist, sondern auf die erniedrigte Temperatur der Südhemisphäre durch den Einfluss des antarctischen Continents.

Dass diese Ursache auf dem einen Ocean stärker, auf einem andern schwächer einwirken kann, wird nicht zu beaustanden sein.

Viel sachlicher und den thatsächlichen Verhältnissen besser entsprechend wäre eine Hinweisung darauf, dass durch das vorspringende Horn der brasilianischen Küste, das Cap S. Roque, der Aequatorialstrom zu einem überwiegenden Theile in die nördliche Hemisphäre hinübergelenkt werde, wenn auch ein schwächerer Theil desselben, die brasilianische Strömung, nach Süden sich wendet. Solche concrete geographische Thatsachen, die freilich lediglich kein Princip darstellen, und auch nur auf den Atlantischen Ocean allein Anwendung finden würden, könnten in der That einen ausschlaggebenden Einfluss in der Vertheilung der warmen Wasser ausüben und könnte speciell hierdurch der Nordhalbkugel mehr erwärmtes Wasser zugeführt werden,

als ihr geographisch gebührt, wie umgekehrt der Südhemisphäre weniger, als ihr zukommt. Allein Dr. Krümmel, der (cf. Die äquatorialen Meeresströmungen des atl. Oceans S. 49) diesen Umstand auch in Erwägung zieht, betont, dass diese Mehrzufuhr warmen Wassers in die Nordhalbkugel durch die Guineaströmung alsbald ausgeglichen werde, indem durch sie in jenen Gewässern entsprechendes Aequivalent warmen Wassers wieder zurück in den Busen von Guinea und in die südliche Aequatorialströmung geführt werde. Krümmel hebt noch besonders hervor, dass gerade dann, wenn die Aequatorialströmung ihre nördlichste Grenze und höchste Geschwindigkeit erreicht, wenn somit die stärkste Zufuhr warmen Wassers in den nördlichen Theil des Atlantischen Meeres stattfindet, die Guineaströmung auch ihrerseits den stärksten Stromgang entfaltet und das Gleichgewicht wiederherstellt (l. c. S. 49).

Unseres Erachtens bietet somit auch die Lage der Calmen im Atlantischen und Stillen Ocean keinerlei reellen Anhaltspunkt dar, um auf einen ungleichen Wärmeempfang, wäre es auch nur durch ungleiche Vertheilung der Gewässer der äquatorialen Meeresströmung, zurückzuschliessen.

Adhémar's Theorie bietet aber noch eine andere Seite dar, die selbst noch von den heutigen Vertretern derselben als selbstverständlich ohne weiteres Bedenken in Anwendung gebracht wird, die aber einer sachlichen Prüfung bedarf. Man nimmt es als ganz selbstverständlich an, dass jene Erdhalbkugel, welche den langen strengen Aphelwinter hat und den kurzen aber entsprechend warmen Perihelsommer, vorzüglich dazu geeignet sei, die Eisanhäufungen und Gletscherbildung in hohem Grade zu begünstigen. Die andere Halbkugel mit dem langen aber kühlen Aphelsommer und dem kurzen milden Winter, der dem Perihel entspricht, soll hierzu nicht geeignet sein. Das ist jedoch gar nicht selbstverständlich. Die erstere Halbkugel (heutzutage die Südhalbkugel mit dem Aphelwinter) müsste somit ein Klima (theoretisch) haben, welches dem Continentalclima, nicht der Ursache, aber dem Charakter, dem wirklichen Verlauf der Temperatur nach, entspricht. Aber gerade das Continentalclima begünstigt trotz seines langen strengen Winters und kurzen heissen Sommers die Schnee- und Eisanhäufungen entschieden nicht. Ein bekanntes Beispiel ist Sibirien, das, trotz seines langen strengen Winters, wegen seines kurzen heissen Sommers keine permanenten oberflächlichen Eisanhäufungen und Gletscher besitzt.

Die andere Halbkugel aber (heutzutage die nördliche mit dem langen aber kühlen Aphelsommer und milden kurzen Perihelwinter) soll für Eisanhäufungen ungeeignet sein. Dieses Klima stimmt in seinem Charakter mit dem oceanischen überein. Nach unbestrittenen Beobachtungen, nicht bloß in den Alpen, sind aber gerade kühle oceanische Sommer und gelinde Winter der oberflächlichen Eisanhäufung sehr günstig.

Dass in Neuseeland und an der Südspitze von Südamerica die Gletscher ein so üppiges Gedeihen haben und sogar an die Eiszeit in Europa lebhaft erinnern, rührt durchaus nicht von einem excessiven Clima daselbst, nicht von einem sehr bedeutenden Unterschied der Jahreszeiten mit strenger Winterkälte her, sondern ist im Zusammenhang mit der gleichmässigen oceanischen kühleren Temperatur besonders des Sommers. Wenn in diesen Gegenden ein langer scharfer Winter, aber auch ein kurzer warmer Sommer Platz greifen könnte, so würde auch dort wie im continentalen nördlichen Asien eine Entblössung, jedenfalls eine bedeutende Einschränkung der Gletscher erfolgen. Eine sibirische Kälte des Winters mag tief in den Boden eindringen (Scherginschacht), aber der sibirische kurze und warme Sommer lässt keine Eisanhäufungen auf der Oberfläche aufkommen, sondern schafft dieselben jedjährlich hinweg.

Man kann bei diesem Thema kaum die Bemerkung unterdrücken, dass sich unter manchen Vertretern der Adhémar'schen Theorie, wohl ganz unbewusst, eine Art abgekürzten Sprachgebrauchs zu bilden angefangen hat, der das einmal vielfach den langen strengen Winter betont, ohne des kurzen, aber wegen der Sonnennähe heissen Sommers zu gedenken; das anderemal des langen Sommers, ohne hinzuzufügen, dass dieser trotz seiner längeren Dauer von Anfang bis zu Ende ein kühlerer Sommer ist, weil er in das Aphel fällt. Auf solche Weise kann man dann ganz unvermerkt zu Aeusserungen gelangen wie zum Beispiel: während des langen Winters wächst das Eis an, wie ein Geschwür und breitet sich immer mehr aus etc. Allein der kurze warme Sommer übt auch seine Macht aus; denn je kürzer derselbe ist in Folge der Excentricität, desto heisser ist er in Folge der nämlichen Excentricität, der grösseren Sonnennähe entsprechend. Den Winter und seine Wirkungen kann man einseitig nur betonen auf Hochgebirgen und in sehr hohen Breiten; bei den ersteren, weil die Dünnigkeit der Luft eine irgend ausgiebige Erwärmung auch zur Sommerszeit nicht zulässt; in sehr hohen Breiten aber fallen die Sonnenstrahlen auch im Sommer so schief auf, dass wiederum keine namhafte Erwärmung eintreten kann. Zeuge davon ist der ewige Schnee an beiden Oertlichkeiten. Allein die Excentricität bleibt hier ganz aus dem Spiel; jene beiden Localitäten haben vermöge ihrer tellurischen Lage einen stark prononcirtten Winter, dem immer nur ein schwächlicher Sommer entgegensteht, falle nun letzterer mit dem Perihel oder Aphel zusammen und würde sich daran nichts ändern, wenn auch die Erdbahn ganz genau kreisförmig wäre.

Aber das Beispiel von Sibirien beweist, dass schon in etwas weniger hohen Breiten (Jakutzk in 62° n. B.) die kurzen aber warmen Sommer nicht mit Stillschweigen übergangen

werden dürfen und das gilt offenbar noch in erhöhtem Grade von niedrigem ebenem Land in mittleren Breiten.

Selbstverständlich ist, dass, wie bei allen Temperaturerscheinungen, so auch hier der Satz gilt, dass die Maxima sich verspäten. Das Maximum der Kälte des Aphelwinters fällt über das Wintersolstitium hinaus und die winterlichen Erscheinungen ziehen sich noch eine Zeit lang über das Frühjahrsäquinoctium hinüber. Allein auch das Maximum der Wärme des Perihelsommers fällt über das Sommersolstitium hinaus und die Wärme greift noch über das Herbstäquinoctium hinüber. Es findet einige Verschiebung, einige Retardation der Temperaturen, wie heutzutage statt, sowohl bei dem Sommer- als bei dem Wintersemester; aber ebendeshalb kann von einer absoluten Präponderanz der einen, nämlich der kalten Jahreszeit keine Rede sein, ausser in Hochgebirgen und in sehr hohen Breiten.

Ferner ist selbstverständlich, dass die Hinwegräumung der Kälteproducte des Winters unter allen Umständen für sich ein Quantum Wärme in Anspruch nimmt. Allein die Kälteproducte werden nicht durch die Excentricität allein hervorgerufen; selbst bei seiner genau kreisförmigen Bahn würde in gewissen Breiten und in gewisser Höhe über dem Meere Schnee und Eis im Winter sich bilden, die durch den Sommer wegzuschaffen sind. Der Excentricität könnte blos insofern eine Rolle zufallen, als der kühlere Aphelsommer eine längere Zeit hierzu brauchen würde als der intensivere Perihelsommer. Aber beide bewältigen schliesslich doch die Producte des Winters; der Aphelsommer langsamer, aber er kann seine längere Dauer dafür einsetzen; der wärmere Perihelsommer wohl rascher, aber seine Dauer ist auch geringer. Nur in den höchsten Breiten und in den höchsten Gebirgslagen erlahmt die Kraft des Sommers gegenüber jener des Winters. Das würde aber bei einer genau kreisförmigen Bahn der Erde in gleicher Weise zutreffen, sofern die Stellung der Erdachse unverändert bleibt.

Dass aber dem Aphelwinter eine Bevorzugung nach der Seite hin nicht einzuräumen sei, dass er Schnee- und Eisanhäufungen auf der Oberfläche begünstige, wurde schon oben auseinandergesetzt.

Von manchen Vertretern der Adhémarschen Theorie wird sodann auch die regelmässige Alternation der kalten und warmen Halbperiode auf je der einen oder anderen Halbkugel preisgegeben. Nach Penk (Vergletscherung der deutschen Alpen S. 452) wird dieser Schritt von Wallace gethan: »ja fragen muss man sich mit Wallace ob denn je überhaupt jene gewaltigen Eismassen, welche einst in Europa 115 000 Quadratmeilen und in Nordamerica 361 000 Quadratmeilen bedeckten, in einer Interglacialzeit von 10 500 Jahren gänzlich reducirt werden konnten. A. R. Wallace verneint in seinem neuesten Werk diese Möglichkeit; nach ihm werden die

Perioden grosser Excentricität nur anfänglich durch Eisanhäufungen ausgezeichnet, welche auf beiden Hemisphären alterniren, später jedoch, wenn die Eismassen so beträchtlich werden, dass sie in einer Interglacialzeit nicht weggeschmolzen werden können, sammelt sich auf beiden Hemisphären zugleich Eis an und in ihrem weiteren Verlauf werden die Perioden grosser Excentricität durch gleichzeitige Vergletscherung auf beiden Halbkugeln charakterisirt.*

Unwillkürlich drängt sich aber hier die Frage auf: wenn wirklich unter dem Einflusse und durch die Kraft einer Periode mit langem Aphelwinter sich auch nur auf der einen, sagen wir nördlichen Halbkugel, einmal solche Massen Eises sollten angehäuft haben, dass die kurzen aber heissen Periheliosommer derselben Periode mit diesen Kälteproducten nicht mehr aufzuräumen sollten vermocht haben, dass auch ferner, nach erfolgter Umkehrung der Halbperiode, die jetzt eintretenden langen aber kühleren Apheliosommer sie nicht mehr zu bewältigen vermocht hätten, sondern Eisanhäufung auf Eisanhäufung folgte; — man fragt sich, wenn durch den Einfluss der Excentricität sich solche Zustände herausbilden konnten, wie ist es dann jemals möglich geworden, dass die Oberfläche der Erde doch noch zu irgend einer Zeit von der Last dieses Eispanzers befreit werden könnte? In der Gegenwart insbesondere ist der Unterschied, der durch die Excentricität hervorgerufen wird, wenn man sich auf den Boden der Theorie selbst stellt, nur mässig, wie schon oben angegeben wurde. Sollte eine so wenig stark prononcirte Periode wie die gegenwärtige im Stande gewesen sein, die Eismassen der Quartärzeit auf den nördlichen Hemisphären wegzuschmelzen? Die Quartärzeit ist doch keine entlegene geologische Periode, sondern geologisch der recenten unmittelbar vorangegangen. Oder sollte sich zwischen Quartärzeit und Gegenwart eine sehr scharf prononcirte Periode der Excentricität eingeschoben haben? Welchen Charakter müsste dann diese Periode gehabt haben, um die im Besitz befindlichen Eismassen wegzuräumen? Das sind Fragen auf die man keine Antwort hat.

Es wurde oben auseinanderzusetzen gesucht, dass die Jahreszeiten selbst, möge die Excentricität sein, welche sie wolle, sich schliesslich doch das Gleichgewicht setzen, dass also eine Anhäufung der Kälteproducte über alle Jahreszeiten hinüber nicht stattfinden könne, oder doch nur auf Hochgebirgen und in sehr hohen breiten Platz greifen könne. Sieht man aber einen Augenblick davon ab, lässt man die Möglichkeit einer fast unbegrenzten Anhäufung der Kälteproducte auch anderwärts zu, so ist die finale Abschmelzung derselben die doch in der That stattgefunden hat, geradezu unerklärlich.

Die Jahreszeiten und Halbperioden mussten doch jenen Grundcharakter, den ihnen die Excentricität aufdrückte, bewahren und geltend machen und eben dieser Charakter schliesst solche masslose Störungen des Gleichgewichts der Jahreszeiten der Halbperioden unter einander aus,

denn den langen Aphelwintern einer Halbperiode stehen kurze aber wegen der Sonnennähe um so heissere Sommer gegenüber und umgekehrt, den milden Perihelwintern folgen zwar lange aber nur kühle Sommer. Die Jahreszeiten jeder Periode, soweit sie von der Excentricität beeinflusst werden, stellen unter sich im Laufe jedes Jahres die gleiche Summe der mittleren Jahreswärme wieder her.

Wenn nun aber doch Eisanhäufungen im Laufe der Quartärperiode, welche eben deshalb den Namen Eiszeit sich erworben hat, aus irgend welchem Grund als vollendete Thatsache, in überraschend grossem Masstab stattgefunden haben, was nicht bestritten wird, so kann dieser Zustand nicht von der Excentricität veranlasst worden sein und ebenso muss auch für die Remedur eine andere Ursache gesucht werden. Die Sommer insbesondere konnten niemals unter dem Einflusse der Excentricität ein solches Uebergewicht erlangen um ein einmal thatsächlich vorhandenes Uebergewicht der Eisanhäufung hinweg zu räumen. Und doch ist jene Eisanhäufung der Quartärzeit auf der nördlichen Halbkugel, von der Wallace spricht, nicht mehr vorhanden. Wie ist sie weggekommen? Wenn man auf den Gedankengang von Wallace sich noch soweit einlassen dürfte und könnte, dass man die Möglichkeit einer ununterbrochenen Anhäufung des Eises über warme und kalte Jahreszeiten und sogar Halbperioden hienüber noch anerkennen wollte, so ist keine Möglichkeit vorhanden, ein Ende derselben zu irgend einer Zeit abzusehen. Die Eisdecke müsste dann bis heute fortbestehen und für alle Zeiten die Oberfläche des Planeten, mit Ausnahme etwa der Tropen bedecken, wie auch in der That die höchsten Höhen der Hochgebirge und die höchsten Breiten der Erde nie von Schnee und Eis frei sind. Und doch ist es nicht so. Die Eiszeit der nördlichen Halbkugel in ihren mittleren Breiten ist vorüber und die Quartärperiode trägt sichtlich den Charakter einer ausnahmsweisen und vorübergehenden Periode an sich. Man wird sich dem Eindruck nicht verschliessen können, dass durch Wallace die Adhémar'sche Theorie auf eine Spitze getrieben wird, wo sie zusammenzubrechen droht. Sobald die Alternation der in ihrer Eigenthümlichkeit verlaufenden, wenn auch schliesslich sich doch das Gleichgewicht haltenden Jahreszeiten und Halbperioden verlassen wird, so ist das Princip schon in einem so wesentlichen Punkte beseitigt, dass es als verlassen anzusehen ist.

Aber gerade deshalb ist es bedeutungsvoll, wie nun bei Wallace und bei Dr. Penk, der sich ihm anschliesst, ein anderweitiges Princip emporzutauchen beginnt.

Dr. Penk sieht sich veranlasst, die Bedeutung der geographischen Bedingungen hervorzuheben: »das Auftreten von Gletschern ist an bestimmte geographische Verhältnisse gebunden, wie man leicht aus der Vertheilung der heutigen Eisströme entnehmen kann. Gletscher finden sich heute nur in Gebirgen und selbst die eiszeitlichen Gletscher gingen stets von Gebirgen

aus. Fehlen Gebirge, so fehlt der Ausgangspunkt irgend welcher Vereisung. Würden wir uns die scandinavischen und schottischen Hochlande vom Norden Europas entfernt denken, so würden wir keinerlei quartäre Vergletscherung derselben beobachten können und ebensowenig würden wir uns eine Vergletscherung Nordamericas denken können, ohne das im Norden gelegene Grönland. Aber nicht alle Gebirge sind in gleichem Masse zur Gletschererzeugung geeignet. Die in maritimen Climates gelegenen Gebirge erzeugen die verhältnissmässig grössten Gletscher.« Dr. Penk l. c. S. 451.

Dass hiermit von Penk und Wallace jenes Princip, welches Sartorius von Waltershausen zuerst aufstellte und consequent durchführte (und dem auch wir schon in einer früheren Abhandlung vom Jahr 1875 in den Württ. naturwiss. Jahresheften S. 85 gefolgt sind, wenn auch mit wesentlichen Modificationen) wenigstens aushilfsweise beigezogen werde, ist deutlich genug ersichtlich, obwohl die Excentricität als Grundlage und Princip von ihnen noch immer beibehalten wird.

Nun drängt sich aber diesem solchergestalt abgeänderten Standpunkte gegenüber wieder die Frage auf: wenn den Gebirgen nach Penk zwar eine Mitwirkung für die Herbeiführung der Eiszeit zugestanden werden will, als Hauptursache aber doch die Excentricität beibehalten wird, — welche Macht war dann im Stande, die mit Beihilfe der Gebirge vollbrachte Thatsache der Vereisung so zu reduciren, wie sie auf der nördlichen Halbkugel heutzutage reducirt ist und damit die Eiszeit zu beendigen?

Wenn durch die langen und strengen Aphelwinter einer Halbperiode auf einer Hemisphäre, und zwar unter Beihilfe der Gebirge, die Vereisung zu Stande kam und ihre schon damals bestehenden Perihelsommer nichts dagegen vermochten, so konnten auch die kurzen, warmen Perihelsommer irgend einer anderen folgenden Halbperiode dieselbe nicht wieder verdrängen; denn schon während des Zustandekommens dieser Vereisung bestanden ja die, den langen Aphelwintern entsprechenden, von ihnen unzertrennlichen, kurzen und warmen Perihelsommer. Die bleibende Vereisung hätte somit, wenn den Perihelsommern eine so stark eingreifende Kraft überhaupt zugeschrieben werden dürfte, gar nie zu Stande kommen können, sondern wäre in ihren ersten winterlichen Anfängen jedesmal wieder durch den unmittelbar folgenden warmen kurzen Perihelsommer unterdrückt worden.

Ebensowenig vermochten das die langen aber kühlen Aphelsommer der nächsten oder irgend einer der folgenden Halbperioden, da anerkannt ist, dass gerade kühle Sommer in den Gebirgen (Alpen) das Wachsthum der Gletscher besonders befördern.

Wollte man aber, freilich im Gegensatz wohl zu allen Vertretern der Adhémarschen Theorie, dahin seine Zuflucht nehmen, dass man gerade jene Halbperioden, welche kühle und lauge Sommer und milde Winter auf einer Halbkugel bedingen, als die eigentlichen förderlichen Zeiten der Vereisung im Gebirg auffasst, so würde man sich wieder in andere Widersprüche verwickelt sehen. Da nämlich gegenwärtig, wie schon oben dargelegt wurde, dieser Zustand in Folge der Excentricität auf die nördliche Halbkugel Anwendung finden würde, so müsste diese jetzt ihre Eiszeit haben und die südliche Halbkugel müsste jetzt das entgegengesetzte Clima haben. Das widerspricht aber allen Beobachtungen und widerspricht insbesondere der Thatsache, dass für die nördliche Halbkugel die Eiszeit entschieden der Vergangenheit angehört, somit nach der Adhémarschen Theorie selbst, einer früheren Periode, welche einen anderen, also entgegengesetzten Charakter getragen haben müsste, als die gegenwärtige. Dr. Penk hebt wohl den an sich ganz richtigen Gedanken hervor (l. c. S. 449), dass die Gletscher die Kälte der höheren Regionen in die Niederungen herabbringen und dadurch eine Ueberhandnahme der Eismassen auch in die tiefere Lagen bewirken. Aber die Schwierigkeiten werden auch hierdurch nicht beseitigt. Wenn nämlich die Sommer jener Halbperiode, während welcher die Gletscher sich bildeten und ihre grosse Ausdehnung erlangten, gleichviel ob sie kurz und warm oder lang und kühl waren, nicht im Stande waren, die Ausbreitung des Eismassen und das Herabsteigen der Gletscher aus der Höhe in die Niederung zu verhindern, so sind auch die Sommer irgend einer späteren Halbperiode, haben dieselben einen Charakter, welchen sie wollen, ausser Stande, eine solche Leistung zu vollbringen. Denn auch diese sind jeder Zeit entweder kurze und warme oder aber lange und kühle Sommer, je nachdem sie in das Perihel oder Aphel fallen. Eine Periode aber, welche lange und zugleich heisse Sommer hätte, deren man für eine solche Leistung wohl bedürfte, ist gerade auf dem Standpunkte der Adhémarschen Theorie unbedingt als unzulässig ausgeschlossen.

Die Verwickelungen lösen sich somit nicht auf, auch wenn man die Gebirge als mitwirkende Ursache hinzunehmen wollte, so lang die Excentricität als das Hauptprineip festgehalten werden will.

Man wird all diesen logischen Schwierigkeiten nur dann entgehen können, wenn man die Gebirge selbst, unter Verzicht auf die Excentricität, je nach ihrem Entwicklungsstadium, sowohl für das Eintreten der Vereisung, als auch für das Aufhören derselben verantwortlich macht. So lange nämlich die Gebirgsketten in sich geschlossen und durch keine Querthäler zerstückelt sind, bewirken dieselbe eine

Anhäufung der Schneemassen, die nicht aus dem Gebirg herausgeschafft werden können. Wenn die Gebirge aber späterhin, durch Erosion der Querthäler, in sich zerstückelt worden und Bahnen nach der Niederung am Fusse des Gebirgs hin eröffnet sind, so wälzen sich die angesammelten Eismassen als Gletscher von grosser Mächtigkeit in die Niederungen hinab, durch deren einheimische Wärme sie erst im Laufe der Zeiten der Schmelzung unterliegen mussten.

Diese Auffassung wurde von uns schon in der oben citirten Abhandlung aufgestellt (1875 W Jahreshefte) und näher begründet, während Sartorius glaubte, eine anfängliche grössere Höhe und späteres Niedersinken der Gebirge annehmen zu sollen, um den Eintritt und das Aufhören der Eiszeit zu motiviren.

Die nächsten Capitel werden die Verbindung zwischen der geographischen und climatischen Zuständen behandeln.

Die Untersuchungen darüber schliessen sich an die Erörterungen über das Clima der Südhemisphäre aus dem Grunde am geeignetsten an, weil gerade die geographische Beschaffenheit dieser Halbkugel hervorstechende Eigenthümlichkeiten aufweist. Die Vertheilung des Festen und Flüssigen daselbst ist so, dass eigentlich nur eine einzige Zone derselben im Verhältnisse zu ihrem Rauminhalt stark, sei es mit festem Land, oder mit stets gefrorenem Wasser besetzt ist, die südliche Polarzone; die andern Zonen besonders die gemässigten haben im Verhältnisse zu ihrem Umfang wenig Land aufzuweisen; dagegen breiten sich hier die Oceane um so mehr aus.

Hier drängt sich nun die Frage auf: Ist das ganz zufällig? Ist dies eine vollendete Thatsache, wofür keinerlei Grund einzusehen ist? Ist insbesondere das eigenthümliche Clima der Südhemisphäre nur eine Folge dieser Anordnung des Festen und Flüssigen, oder haben vielleicht die climatischen Zustände selbst ihren Theil dazu beigetragen, dass die geographische Beschaffenheit sich gerade so gestaltet hat, wie sie dermalen ist? Wir glauben in den folgenden Capiteln nachweisen zu können, dass hier in der That eine Wechselwirkung obwaltet zwischen climatischen und tellurischen Zuständen.

Z w e i t e s C a p i t e l .

Die südliche Hemisphäre als ein Gebiet vorherrschender Senkungen.

Die Geographen weisen auf eine Anzahl Erscheinungen hin, welche einen nicht zu verkennenden Unterschied zwischen der Nord- und Südhemisphäre erkennen lassen. Dieselben sind: die grössere Ausdehnung und Tiefe der Meere der südlichen Halbkugel, das auffallend zahl-

reiche Auftreten von Laguneninseln in dem Stillen Ocean und im Indischen Ocean und die auffallend verschiedene Form der Landmassen, die nach den südlichen Gegenden hin sich schmal zuspitzen (Südspitze von Südamerica, Africa und die beiden indischen Halbinseln), andererseits nach den nördlichen Gegenden hin breit und flach auslaufen (breite Landmassen des nördlichen Asien und America). Peschel nennt das Homologien der Form. Diese Erscheinungen verathen offenbar eine gewisse Beziehung untereinander und lassen sich unter dem gemeinsamen Gesichtspunkt einer vorherrschenden Senkung im Bereich der südlichen Hemisphäre zusammen auffassen. Wenn das Gebiet der südlichen Hemisphäre gegenüber der nördlichen Halbkugel als der Schauplatz einer stärkeren Senkung des Meeresbodens aufgefasst werden darf, so sind diese Erscheinungen keineswegs räthselhaft, sondern ergeben sich ganz einfach als Consequenzen. Wenn der Meeresboden der Südhalbkugel sich lebhafter senkt, so wird er vom Meere in weiterem Umfang und grösserer Tiefe bedeckt, so werden an geeigneten Stellen die Erscheinungen sinkender Laguneninseln sich einstellen; so werden auch auf dem stärker sich senkenden Gebiet die Landmassen vorherrschend geschmälert werden, während dieselben auf der entgegengesetzten Halbkugel in breiten und flachen Massen aus den seichteren Meeren auftauchen.

Die Thatsachen sind vorhanden; die Frage ist aber diese, ob die Ursachen einer stärkeren Senkung auf der Südhemisphäre sich darlegen lassen und ob dieselben mit den climatischen Verhältnissen in einem Zusammenhang stehen?

Unsere Antwort geht kurz gefasst dahin, das Vorhandensein eines antarctischen Continents in so ungünstig centraler Lage um den Pol herum und die mit demselben zugleich ins Dasein gerufenen climatischen Vorgänge sind die Ursache der stärkeren Senkung der Südhemisphäre

Diese Auffassung ist aber näher zu begründen.

Denkt man sich das Vorhandensein des antarctischen Landes als eine gegebene Thatsache, so ist unzertrennlich damit in seinem Bereich ein continentales Clima verbunden. Sobald ein Continent sich herausgebildet hat, so ist damit auch das continentale Clima in jener Beschaffenheit, wie sie durch die geographische Lage (Breite) bedingt wird, inaugurirt. Wie beschaffen das Clima dieses Continents sein müsse und welche Vorgänge sich in Folge desselben einstellen mussten, lässt sich bestimmt sagen, weil ja diese Vorgänge noch heutzutage fortdauern. In der langen Winternacht gewinnt die Ausstrahlung der Wärme gegen den freien Himmelsraum, d. h. die Kälte, eine gewaltige Kraft. Darauf folgt zwar der ebenso lange Sommertag, aber in jenen Breiten, die der antarctische Continent einnimmt, fallen die Sonnenstrahlen jederzeit sehr schief auf und vermögen kaum ausgiebige Wärme hervorzurufen, während die Aus-

strahlung der langen Nacht mit keinem Winkel zu schaffen hat. Deshalb ist die Kraft des Winters sehr stark, die des Sommers sehr schwach. Das trifft besonders für die antarctischen Landmassen in voller Stärke zu; anderwärts liegen die Verhältnisse schon etwas günstiger, wie beispielsweise in Sibirien (Jakutzk). Unter dem 62° der nördlichen Breite hat die Kraft der Sonnenstrahlen im Sommer eine nicht mehr zu unterschätzende Bedeutung; aber der antarctische Continent bedeckt mit seiner Masse nahezu central den ganzen Polarkreis und ragt nur mit spitzen Zipfeln und schmalen Säumen über denselben da und dort hervor. Die Sonnenstrahlen fallen somit auf dem ganzen Gebiet desselben sehr schief auf. Sieht man von der gebirgigen Beschaffenheit desselben, die heutzutage besteht, ganz ab, so müssen sich schon um dieser geographischen Lage willen, die Kälte und die Kälteproducte in ausserordentlich hohem Grade geltend machen können. Auf jene Kälte, welche den Boden des Continents selbst beschlägt und die sich durch Luftströmungen weiterhin mittheilen kann, ist aber das Hauptgewicht nicht einmal zu legen, sondern darauf, dass die Producte der Kälte massenhaft und direct allseitig in das offene Meer übergeleitet werden. Die grossen Eismassen, die sich an den Rändern des erkalteten Continents bilden, brechen ab und schwimmen fort; die Gletscher ergiessen sich in das Meer und es ist allseitig zugegeben, dass das antarctische Gebiet darin Gewaltiges leistet, Gewaltigeres noch als die Landmassen der arctischen Polarländer. Diese Eismassen schwimmen fort, schmelzen nach und nach ab und das kalte Wasser sinkt zu Grunde. Das Meerwasser hat nach den neuesten Untersuchungen seine grösste Dichtigkeit bei $+ 0,45^{\circ}$ C. So niedrig stellt sich die Temperatur der tiefsten Gewässer des Meeres; und in der That schwankt nach den gemachten directen Beobachtungen die Temperatur der tiefen Gewässer der Oceane um diesen Betrag herum, gleichviel, ob diese Gewässer unter den Tropen, oder in mittleren Breiten, oder im Polarkreise sich befinden.

Sobald nun eine solche kalte Strömung auf dem Grund der Oceane durch alle Breiten- und Längengrade hin sich geltend zu machen anfing, so wurde an den Meeresgrund, an den festen Boden, welcher die Erstarrungsrinde der Erdkugel auch unter den Meeren bildet, eine ganz bedeutende Wärmeabforderung gestellt, oder was die gleiche Bedeutung hat, eine Abkühlung desselben hervorgerufen. Wir halten den Ausdruck »Wärmeabforderung« für richtiger, weil derselbe die besondere Art und Weise der Abkühlung bezeichnet. Die Abkühlung des Meeresgrundes geht in der That so vor sich, wie wenn über eine Steinplatte von mässig hoher Temperatur ein eisig kalter Strom Wasser hingeleitet wird. Wie energisch diese Art von Abkühlung sich vollzieht, davon kann man jederzeit sich überzeugen, wenn man einen erwärmten Stein in kaltes fliessendes Wasser legt und andererseits einen gleich grossen

Stein mit gleicher Erwärmung an der Luft abkühlen lässt. Die Wärmeabforderung von dem Stein, der in das kalte fliessende Wasser gelegt ist, ist vielmal stärker, ungestümer, als jene von dem Stein, der an der Luft erkaltet, auch wenn die Temperatur der Luft und des Wassers die gleiche ist. Bei sehr grossen Temperaturunterschieden des Wassers und des heissen Steines giebt nicht nur das zischende Geräusch Zeugnis von der Heftigkeit der Wärmeabforderung, sondern auch die schnelle fast augenblickliche Zunahme der Temperatur des Wassers. Das Wasser hat wegen seiner Eigenschaft als flüssiger Körper sowohl vor festen als auch luftförmigen Körpern den Vorzug einer besonderen Energie der Wärmeabforderung von solchen Gegenständen, mit denen es in Berührung kommt; schon das gefrorene Wasser, das Eis, hat als ein fester Körper diese Eigenschaft in viel geringerem Grade. Wenn also das kalte Grundwasser der Meere mit dem Meeresboden in Berührung kommt, so muss letzterer in sehr kräftiger Weise abgekühlt werden. Faye drückt sich ganz richtig aus, wenn er sagt, dass unter den Meeren die Abkühlung der Erdkugel lebhafter und tiefer vor sich gehe, als unter den Continenten, während neuere Autoren das Gegentheil annehmen zu müssen glauben. Im nächsten Capitel werden wir nochmals auf diese Vorgänge zurückkommen. Vorerst wäre anzuerkennen dass auf dem Meeresboden der südlichen Erdhälfte mehr noch als der nördlichen, Jahr aus Jahr ein, Tag und Nacht, ohne dass ein erwärmender Sonnenstrahl einzudringen vermag, ein eisigkalter Strom sich ergiesst, der mit nachhaltiger und ungeminderter Kraft die Wärme desselben abfordert und entführt; denn sobald die Temperatur des Wassers sich zu heben anfängt, durch die dem Meeresboden entzogene Wärme, so steigen die leichter gewordenen Gewässer empor und an ihre Stelle tritt wiederum Wasser von niedrigerer Temperatur, um den Wärmeabfluss nie stille stehen zu lassen. Die scheinbar viel näher liegende Ausgleichung der in verschiedener Tiefe verschieden warmen Wasserschichten des Oceans unter einander selbst, kann nicht stattfinden, weil dieselben einander fliehen. In dem weiten Raum der Meerestiefe werden die kalten Gewässer unten, die warmen oben durch ihr verschiedenes Gewicht festgehalten, streben auseinander, anstatt ineinander, so dass eine Ausgleichung derselben unter einander nicht erfolgen kann. Zusammenstösse, wie zwischen dem warmen Golfstrom und kalten Labradorstrom, sind Ausnahmen. Es ist somit der Meeresboden allein oder wenigstens in der grössten Ausdehnung, der den Anforderungen des kalten Wassers erreichbar ist und in Anspruch genommen werden muss, um die Temperatúrausgleichung zu vollziehen.

Die weitere Folgerung ist nun ganz einfach: wenn auf dem Meeresboden, namentlich der Südhemisphäre, eine so lebhaftere Wärmeabforderung und Abkühlung vor sich geht, so findet daselbst eine entsprechende Verminderung des Volumens des Meeresboden statt, das ist:

eine Senkung und als sichtbarer Ausdruck desselben stellen sich jene geographischen Eigenthümlichkeiten ein, deren Eingangs Erwähnung geschah; insbesondere wird die Meeresbedeckung dasselbst umfangreicher und tiefer sein. Dem Einwurf muss jedoch wiederholt begegnet werden, als ob dem antarctischen Continent bei der Abkühlung eine unmotivirte Ausnahmstellung eingeräumt worden wäre; es wurde demselben in der That keine andere Stellung zuerkannt, als diejenige, die er seiner geographischen Lage und seiner Beschaffenheit nach in Wirklichkeit beansprucht und besonders auch gegenüber den arctischen Landmassen behauptet. In dem nördlichen Polarkreise liegen die Landmassen nicht central, sondern mehr oder weniger auf die Peripherie vertheilt, so dass Nordenskiöld¹⁾ neuerdings sich sogar zu einem offenen, eisfreien nordpolaren Eismeere zu bekennen geneigt ist. Im Gebiet des südlichen Polarkreises liegen die Verhältnisse anders; die Landmassen nehmen dort eine ganz centrale Lage ein. Hiermit ist nicht ausgeschlossen, sondern sogar wahrscheinlich, dass im antarctischen Gebiet nicht eine ununterbrochene wirkliche Landbildung bestehe; es mag dort in Wirklichkeit ein Archipel aus einer grössern Anzahl von Inseln zusammengesetzt bestehen; aber diese Inseln sind durch nie aufthauendes Eis verbunden und gewinnen hierdurch vollständig den Charakter eines Continents. Dem Eis kommen die physicalischen Eigenschaften des Wassers in Betreff der Wärme nicht mehr zu; dasselbe hat die Eigenschaften fester mineralischer Körper und ein durch Eis bleibend zusammenhängender Archipel ist in der That ein Continent. Die antarctischen Landmassen, auch wenn sie im Grunde nur ein Archipel waren, sind ein antarctischer Continent geworden, der von den nordischen Polarländern die centrale Lage voraus hat. Dies ist der Grund seiner überwiegenden climatischen Bedeutung. Die Seefahrer, die es versucht haben, in die südlichen Polargegenden vorzudringen, sind auch alle darin einig, dass die Kälteproducte desselben unbestreitbar überwiegend seien. »Die bedeutenden Eismassen des südlichen Eismeers, die sich oft in einer Höhe von 100 m in die südlichen Theile der andern Oceane erstrecken, sind die Hauptlagerstätten des kalten Wassers« (Andree); sind desshalb auch, darf hinzugefügt werden, die Hauptursache der überwiegenden Senkung des Meeresgrundes dieser Hemisphäre.

Wie im vorigen Capitel, so besteht auch hier eine Concurrrenz mit der Adhémarschen Auffassung, welche eine weitere Darlegung verlangt.

Die Vertreter dieses Standpunktes ermangeln nicht zu betonen, dass ihre Auffassung sie befähige, die nambaft gemachten geographischen Erscheinungen der Südhemisphäre befriedigend zu erklären. Dieselbe nehmen zu diesem Zwecke eine, unter dem Einflusse des spezifischen

¹⁾ Die Umseglung von Asien etc. I. S. 237.

Climas der südlichen Halbkugel entstandene meilendicke Anhäufung von Schnee und Eis auf dem antarktischen Continent an, dem ein so grosser Umfang und so grosses Gewicht beigemessen wird, dass durch den Einfluss desselben der Schwerpunkt der Erde selbst eine Verrückung erlitten habe und in Folge dessen ein Zudrang der Flüssigkeit auf der Oberfläche der Erde gegen die antarktischen Gegenden hin stattgefunden habe.

Mit dieser Annahme einer so gewaltigen und einseitig überwiegenden Vereisung ist zwar nicht recht gut in Einklang zu bringen, dass auch in den Nordpolarländern Anhäufungen des Schnees thatsächlich stattfinden (Grönland), so dass beide Gewichte einander entgegenarbeiten und sich zu paralyisiren suchen; und ferner, dass nicht blos Anhäufung statt hat, sondern auch massenhafter Abgang von Eisbergen und Eisschollen. Will man aber auf diesen Einwand keinen endgültigen Werth legen, da immerhin ein relativer Ueberschuss auf der Südhemisphäre sich doch herausstellen kann, so ist nicht in Abrede zu stellen, dass hierdurch für die geographischen Eigenthümlichkeiten der südlichen Halbkugel einiges Licht gewonnen ist. Die vom Meere bedeckten Räume werden daselbst umfangreicher und die Meere selbst tiefer sein; auch die abweichenden Umrisse der Continente gegen Süd und gegen Nord hin, sowie die Lagunen, als überfluthete Inseln, gewinnen dadurch eine Beleuchtung. Diese Erklärung kann aber doch nur bei oberflächlicher Betrachtung befriedigen. Das Hauptgebrechen des Adhémarschen Standpunktes, abgesehen von der Schwierigkeit der Motivirung einer Eisansammlung von solchem Umfang, liegt darin, dass durch denselben nur ein Zudrang der Gewässer nach dem Südpol hin, nicht aber eine wirkliche überwiegende Senkung des Meeresboden, der südlichen Halbkugel begründet werden kann.

Wenn aber nur ein Zudrang der Gewässer und keine weitverbreitete Senkung des Meeresboden stattfinden würde, so müssten die Erscheinungen des tiefern Eintauchens auf allen Punkten der Südmeere gleichmässig vorhanden sein, wie umgekehrt ein allgemeines gleichförmiges Auftauchen der Landmassen auf der Nordhalbkugel; denn die Gewässer halten ihr Niveau überall ein und stellen, wo sie unter sich communiciren, dasselbe im Fall der Störung alsbald wieder her. Das ist aber nicht der Fall; Die Westküste von Neuseeland sinkt, seine Ostküste steigt; die Westküste von Südamerica steigt und sofort; — und umgekehrt auf der Nordhalbkugel sinkt die Nordküste von Deutschland und Frankreich und die Südküste von England. Das sind nur einige Beispiele, die leicht vermehrt werden könnten; sie sind aber nicht zu vereinigen mit dem Adhémarschen Standpunkt; jedenfalls müssten noch andere Gesichtspunkte und Ursachen herbeigezogen werden um diese räthselhaften abweichenden Vorgänge zu erklären. Die von uns gegebene Erklärung wird hierdurch nicht beeinträchtigt. Durch eine vorherrschende und über-

wiegende wirkliche Senkung des Meeresboden der Südhemisphäre ist eine theilweise da und dort auftretende Hebung im Bereiche desselben gar nicht ausgeschlossen, sogar, wie im nächsten Capitel dargelegt werden wird, eingeschlossen.

Sodann müssten nach Adhémarscher Auffassung gegen den Südpol hin die Wassermassen stetig zunehmen und dort ihre grösste Tiefe zeigen, weil dort die Ursache der Störung des Gleichgewichts ist. Das ist aber auch nicht der Fall. Die grössten Tiefen der Meere befinden sich in den niedrigen geographischen Breiten und vorzüglich unter den Tropen. Im Atlantischen und Indischen Ocean fällt die grösste Tiefe deutlich innerhalb der Tropen (ef Krümmel: Vergleichende Morphologie der Meeresräume Tabelle I. II. III.). Im Stillen Ocean sind zwar die Tiefen innerhalb der Tropen auch grösser, als die mittleren Durchschnittsziffern (l. e, Tabelle IV.), sowohl südlich als nördlich vom Aequator; die grösste Depression fällt jedoch hier auf den 40° — 50° nördlicher Breite (Tuskarora-Tiefe). Die Meerestiefe convergirt somit keineswegs gegen den Südpol zu, wie es nach Adhémars Theorie sein müsste, sondern sie divergirt von beiden Polen weg gegen die mittleren und niedrigen Breiten hin. Man könnte noch hinzufügen, dass man keinen Grund einsieht, warum, nach der Adhémarschen Auffassung, das antarctische Polarland nicht schon längst von dem zudrängenden Meere überfluthet sein sollte, da doch der Andrang gerade nach dieser Region hin, in welcher die Ursache der Gleichgewichtsstörung liegen soll, gerichtet sein muss.

Mit der oben von uns vorgetragenen Auffassung steht auch die Anordnung bei Abstufung der Meerestiefe in ihren Hauptzügen im Einklang. Die Ströme des kalten Meerwassers laufen auf dem Grund des Meeres von den Polarländern weg nach dem Aequator zu. Dieselben kommen zwar dadurch in den Bereich höherer Wärmegrade, aber die Temperatur der Grundwasser wird hierdurch, wie auch die Beobachtung bei den Lothungen zeigt, kaum geändert, weil immer die kältesten, besser die dichtesten Wasser auf den Grund nachsinken. Deshalb kann sich auch die abkühlende Kraft derselben und was sonst in ihrem Gefolge eintritt, auf dem Meeresgrunde forterhalten bis zu den Tropen und bis zum Aequator. Die Umwandlung des Wassers in Dampf geschieht hier (unter dem Aequator) am stärksten; zur Wiederherstellung des Niveaus nehmen deshalb hier, wie auch die Beobachtung bestätigt¹⁾, die kalten Gewässer des Meeresgrundes eine vertical aufsteigende Richtung nach der Oberfläche zu an und veranlassen jenes System von Strömungen, das unter den Tropen eine so grosse Regelmässigkeit zeigt. Aber nicht blos die warmen Gewässer der Oberfläche zeigen hier eine lebhaftere Bewegung,

¹⁾ ef Krümmel die äquatorialen Meeresströmungen S. 16.

sondern auch in der Tiefe des Oceans unter den Tropen muss, correspondirend, eine raschere Bewegung des Zuströmens der kalten Wasser bestehen und durch dieselbe wird auch die Abforderung und Fortführung der Wärme des Meeresgrundes beschleunigt und gesteigert; oder was die gleiche Bedeutung hat, es treten dort die stärkeren Senkungen des Meeresgrundes ein, die Meere erlangen unter den Tropen durchschnittlich die grösste Tiefe. Jene mehr abgeschlossenen Binnenmeere, welche, wie das romanische Mittelmeer, durch untermeerische Barren vor dem Eintritt der kalten Grundwasser des Oceans geschützt sind, bewahren auch in ihrer Tiefe eine beträchtlich höhere Temperatur. So findet man in dem Mittelmeer, dessen Verbindungspforte mit dem Atlantischen Ocean bei Gibraltar nur 500 m beträgt, noch in einer Tiefe von 3000 m eine Wassertemperatur von 12 °8 C, während in den grossen Oceanen in solcher Tiefe schon Temperaturen von 2°—3° C. vorkommen (cf. Krümmel: Vergleichende Morphologie der Meeresräume S. 104) Dagegen erreichen, ohne Zweifel aus der gleichen Ursache, die Gewässer der Binnenmeere auch nie jene grossen Tiefen, welche den offenen Oceanen zukommen.

D r i t t e s C a p i t e l .

Hebungen als Correlat der Senkungen.

Wenn die Oberfläche einer bis zu einem gewissen Grad erwärmten und dann der Abkühlung ausgesetzten Kugel so beschaffen ist, dass dieselbe sich überall ganz gleichmässig abkühlen kann, so wird auch eine gleichmässige Verminderung ihres Volumens eintreten.

Anders verhält es sich, wenn die Abkühlung an verschiedenen Stellen ungleich vor sich geht. Letzteres trifft wenigstens heutzutage zu bei der Erdkugel, schon aus dem Grunde weil ihre Oberfläche theils aus festem Land, theils aus Wasser besteht, die sich bei der Abkühlung jedenfalls nicht ganz gleich verhalten. In jenen Theilen, welche der Abkühlung in höherem Grade günstig sind, wird die Volumenverminderung stärker sein; sie verwandeln sich in Gebiete der Senkung, wovon im vorigen Capitel die Rede war; jene Theile aber, die zur Abkühlung weniger geneigt sind, können sich unter Umständen in Gebiete der Hebung verwandeln, dann nämlich, wenn die Energie der Senkung in dem eigentlichen, überwiegenden Senkungsgebiete stark genug ist, um in den weniger sich abkühlenden Gegenden eine Senkung nicht nur nicht zu Stande kommen zu lassen, sondern dort das Correlat der sinkenden Bewegung, eine Hebung, hervorzurufen.

Von Seite der Physik steht hierbei kein principiellcs Hinderniss entgegen. Pfaff äussert sich darüber in seinem Grundriss der Geologie S. 158: »das Niedersinken einzelner Theile der Erdrinde veranlasst auf der anderen Seite Hebungen, so dass die letztere nur eine Folge der ersteren sind.« In der Einleitung zu seiner neuesten Schrift (Mechanismus der Gebirgs-erhebung S. 3) constatirt er sogar, dass, so verschieden auch sonst die Anschauungen sein mögen, darin alle neueren Ausführungen über Gebirgsbildung übereinstimmen, dass sie die Schwere der Erdrinde als das bewegende Princip bei der Gebirgsbildung annehmen, durch welche ein Druck ausgeübt werde. Pfaff berührt hierbei nicht einmal die Nothwendigkeit einer ungleichen Abkühlung, ohne Zweifel weil er die Ungleichheit als selbstverständlich voraussetzt. Wir werden jedoch dieselbe einlässlicher nachweisen müssen. Dagegen halten wir die von Pfaff verlangte und betonte Bedingung eines in feurig flüssigem Zustand befindlichen Erdinnern, doch nicht für ein absolutes Erforderniss. Es wird genügen anzunehmen, dass das Erdinnere, dem jedenfalls eine sehr hohe Temperatur zukommt, gegen einen Druck der von der Oberfläche aus wirkt, schon seiner hohen Temperatur wegen nicht unnachgiebig im stricten Sinne des Wortes sei, was auch mit einer festeren Consistenz desselben im gewöhnlichen Sinn dieses Wortes, recht wohl zu vereinbaren ist. Jene Gebiete somit, welche der stärksten Abkühlung unterliegen, üben durch ihre Senkung einen Druck auf ihre Unterlage aus, und da diese Unterlage als nicht unnachgiebig anzunehmen ist, so werden die unterlagernden Theile demselben auszuweichen suchen. Da ferner eine ungleiche Abkühlung und ein ungleicher Druck stattfindet, so werden dieselben nach jenen ¹⁾ Seiten hinauszweichen suchen, welche keinem oder auch einem relativ viel geringeren Druck unterliegen. Im vorigen Capitel wurde auf die tiefen Meeresräume hingewiesen, in welchen durch starke Wärmeabforderung starke Senkung hervorgerufen wird, woselbst somit auch ein starker Druck auf die Unterlage besteht. Diesen Meeresräumen stehen gegenüber die Continente, oder zunächst besser gesagt: jene Archipele, die sich später zu Continenten entwickelt haben, welche jedoch immerhin einen Gegensatz zu den tiefen Meeren bilden, nicht bloß sofern ihre Oberfläche nicht von Wasser bedeckt ist und mit der Luft in Berührung steht, sondern auch darin schon, dass deren untermeerische Sockel

¹⁾ Bei Annahme eines feurig-flüssigen und zwar tropfbar flüssigen Erdinnern würde ein Druck, der von einer Stelle ausgeht nach allen Seiten hin gleichmässig wirken und dem entsprechend eine gleichmässige Hebung aller andern Seiten veranlassen. Das ist ein Grund, der die Annahme eines tropfbar-flüssigen Erdinnern unräthlich erscheinen lässt, denn die Unebenheiten des festen Landes sprechen dafür, dass die Hebungen (in Folge der Senkungen) sich ungleichmässig ausbreiteten. Dagegen äussern sich die Wirkungen eines Drucks bei zwar nicht unnachgiebiger, aber auch doch nicht tropfbar-flüssiger, sondern schwerer zu bewegenden Beschaffenheit der Unterlage so, dass sie sich in der Nachbarschaft der Gegend, von welcher der Druck ausgeht, am stärksten zeigen.

sich aus den eigentlichen Meerestiefen herausheben. Wie werden sich nun diese Regionen des festen Landes bei der Abkühlung verhalten? Köhlen sie sich schneller ab oder langsamer als die den tiefen Meeresräumen unterlagernden Theile der Erdrinde?

Auf dem Festland kommen an sich höhere Kältegrade vor, die jene der Gewässer am Meeresgrund bedeutend übertreffen. Sieht man von den Tropen ganz ab, so kommen in den gemässigten Zonen in gewissen Jahreszeiten mehr oder weniger bedeutende Ueberschreitungen des Nullpunktes des Thermometers in negativer Richtung vor. In den Polarländern fällt sogar die mittlere Jahrestemperatur ansehnlich unter den Gefrierpunkt. Ein tieferes Eindringen in die Tiefen der Erde gehört jedoch zu den Ausnahmen. In mittleren Breiten (Paris) ist in einer Tiefe von ca. 80' keine Spur einer Temperaturschwankung von der Oberfläche her mehr zu finden, weder im Sinne der Erwärmung noch der Erkältung. In Sibirien (Jakutzk) mit einer Mitteltemperatur von -10° C., besteht jedoch ein sogenannter ewiger Eisboden und erstreckt sich dort auf eine wahrscheinliche Dicke von ca. 600' (Scherginschacht). Dass auch Grönland und andere arctische Gebiete einen Beitrag zu dem ewigen Eisboden liefern können, und dass insbesondere das Innere des antarktischen Continents tief von ewigem Froste gebunden sein könne, ist wohl möglich, aber keineswegs sicher, weil die dort bestehende Kruste von Eis und Schnee dem Vordringen des Frostes in die Tiefe hinderlich ist. Sicher ist, dass die Hochgebirge der Continente keinen ewigen Eisboden haben; die verschiedenen Durchbohrungen in den Tunnels geben darüber ganz bestimmten Aufschluss. Die Einwirkungen der Kälte auf die Tiefe ist somit doch nur eine local begrenzte und es fragt sich überdiess, ob man die Tiefe von 600', welche schon mehr als der mittlere Betrag des gesammten Eisbodens in Sibirien zu sein scheint, überhaupt wirklich eine Tiefe nennen könne. Für den menschlichen Betrieb ist dieselbe ansehnlich genug, aber für das was man die Erdrinde zu nennen pflegt, ist dieselbe schon verschwindend klein und noch mehr für den ganzen Erdradius. Mögen auch die Wirkungen des Frostes auf der Oberfläche des Festlandes für Pflanzen und Thiere von sehr grosser Bedeutung sein, der Einfluss auf das, was man die Erdrinde nennt, deren Dicke unter allen Umständen auf eine Anzahl von Meilen geschätzt werden muss, ist verschwindend klein. Es könnte fast auffallen, warum die oft intensive Kälte der Winter in mittleren und hohen Breiten so wenig in die Tiefe greift. Allein die Schneedecke hält die Wärme des Erdbodens zusammen und wehrt dem Vordringen der Kälte der Luft; und zudem sind die Zeiten der Kälte kurz bemessen und zerstückelt; sie sind schon innerhalb 24 Stunden in zwei ungleiche Hälften, Tag und Nacht, zertheilt, wo der Tag oft schon hereinbringt, was in der Nacht an Wärme verloren ging; die grossen Unterbrechungen aber geschehen durch den Wechsel

der warmen und kalten Jahreszeiten. Die geringen Erfolge des Frostes beim Eindringen in die Tiefe erklären sich hierdurch genügend.

Bei der Abkühlung auf dem Grund der Meere liegen die Verhältnisse ganz anders.

Von einer Unterbrechung der Abkühlung des Meeresgrundes durch Tages- oder Jahreszeiten ist selbstverständlich keine Rede. Eine schützende Hülle für den Meeresgrund, wie die Schneedecke für die Oberfläche der Erde ist, gibt es nicht; der unersättlich die Wärme abfordernde und fortführende eisige Strom des kalten Wassers hält sich ununterbrochen in unmittelbarer Berührung mit der festen Rinde. Es wurde schon im vorigen Capitel auf ein ganz einfaches Experiment hingewiesen, um ermessen zu können, welch' tiefgehende Abkühlung daraus erfolgen muss.

Eine grosse Bedeutung kommt aber ferner dem Umstande zu, dass die Abkühlung des Meeresgrundes erst in sehr ansehnlichen Tiefen einsetzt. Wenn der Scherginschacht in Sibirien lehrt, dass dort erst in ca. 600 Fuss Tiefe eine Temperatur von 0° sich einstellen wird, so lehren die Lothungen in der Tiefsee, dass dort in einer Tiefe von 20,000 Fuss und darüber keine höhere Temperatur als ca. 0° besteht. Unter dem Scherginschacht fängt die Temperatur von der Tiefe von 600' abwärts in positivem Sinne zu steigen an, und zwar wie anderwärts um ungefähr 1° C. ca. für 100'; sie wird somit dort in einer Tiefe von 20,000' schon ungefähr nahezu 200° C. erreicht haben. In solcher Tiefe setzt aber die abkühlende Kraft, welche auf den Meeresgrund einwirkt, erst ihre ganze ungebrochene Energie ein, um von da aus eine Temperaturlausgleichung nach der Tiefe zu erwirken und es lässt sich ermessen, dass ihre Wirkung, nämlich die Abkühlung und Volumverminderung des Meeresgrundes sich sehr weit in die Tiefe der festen Rinde hinab erstrecken wird. Wenn nun auch das Thermometer hier seine weitere Dienste versagt, so ergeben sich doch Aufschlüsse durch die geodätischen Arbeiten d. h. durch die Beobachtung der Dichtigkeit aus den Pendelschwingungen. Wir entnehmen darüber einen Passus aus Prof. Pilar: Grundzüge der Abyssodynamik 1881 S. 74. »Zu Ende des vorigen Jahrhunderts, sagt Pilar, und im ersten Drittel dieses Jahrhunderts erwachte ein reges Interesse für die Pendelbeobachtungen. Man trug das Pendel überall hin und beobachtete auf Continenten, an Meeresküsten, in der Mitte des Meeres, auf den Inseln und selbst auf den kleinen Corallenriffen. Als es aber dazu kam, die Resultate der verschiedenen Expeditionen zu vergleichen und nach der Clairaut'schen Formel auszurechnen, fand man, dass die Schwere auf die Continenten schwächer wirkt, obwohl ein Ueberschuss an Masse vorhanden ist, während andererseits über den Meeren, trotz des augenscheinlichen Mangels an Masse, die Schwerkraft sich beständig viel grösser erweist. Nach Faye hat Saigny die erhaltenen Resul-

tate so zusammengestellt, dass er auf die eine Seite die unter der durchschnittlichen Anziehungstärke zurückbleibenden Beobachtungen brachte, auf die andere Seite aber jene Beobachtungen stellte, welche eine grössere Anziehungskraft aufweisen. Er fand, dass bis auf zwei alle zu starken Attractionsbeobachtungen auf die offene See fielen und alle zu schwachen, bis auf eine einzige, auf den Continenten vorkamen. Es genügt somit nicht mehr mit den Geodäten zu behaupten, dass unterhalb der Continente Hohlräumen vorhanden wären; denn es müssten sich unterhalb der Oceane ungemein dichte Stoffe befinden.«

Das sind Beobachtungen ¹⁾, die kaum einen Zweifel darüber bestehen lassen, dass die grössere Verdichtung der Erdrinde nicht auf Seite der Continente sich befindet, sondern auf Seite der Oceane, und ebenso wenig kann unseres Erachtens darüber ein Zweifel bestehen, dass diese grössere Verdichtung in der weit stärkeren Abkühlung ihren Grund habe, welche die kalten Meeresströmungen auf ihre Unterlage, auf den Meeresgrund, ausüben.

Erwägungen, wie sie von Wepfer ²⁾ angeregt wurden und wie sie wohl auch sonst sich aufdringen möchten, dass das trockene Land der Abkühlung gegen den kalten Raum mehr (fünfmal mehr) ausgesetzt sei, kommen hier gar nicht in Anwendung. Sie kämen in Anwendung und wären richtig, wenn es sich darum handelte, ob die Oberfläche des Landes oder die Oberfläche des Wassers schneller sich abkühlen, somit bei Untersuchung der Frage des reinen Seeclimas gegenüber dem Continentalclima. Hier ist allerdings bekannt, dass das Wasser, d. h. seine Oberfläche sich langsamer abkühlt als das Land. Allein die Frage ist eine ganz andere; die Frage ist, wie sich die Erdrinde unter dem Wasser abkühlt. Es kommt somit gar nicht die Temperatur der Oberfläche des Wassers zur Sprache, sondern die Temperatur der tiefsten Schicht des Wassers, seiner Unterfläche, wenn der Ausdruck gestattet ist. Die Temperaturen der Unterfläche des Wassers im tiefen Ocean sind aber erwiesenermassen von jenen der Oberfläche so stark abweichend, dass ein Schluss, der aus letzteren gezogen wird, nothwendig ein unrichtiges Resultat geben muss.

¹⁾ Es darf jedoch nicht mit Stillschweigen übergangen werden, dass diese Beobachtungen nicht jegliches Misstrauen zu beseitigen vermochten. Arago in seiner populären Astronomie (4. Bd. S. 59 der deutschen Ausgabe) kann die Bemerkung nicht unterdrücken, dass den localen Anziehungen vielleicht eine zu grosse Bedeutung beigelegt werde, da dieselben sehr oft viel natürlicher blossen Beobachtungsfehlern zuzuschreiben seien. Ferner wurde in neuerer Zeit darauf hingewiesen, dass die Meeresoberfläche keine normale Sphäroidfläche sei, sondern dass dieselbe gegen die Continente hin ansteigt. Hierdurch werden die durch die Pendelbeobachtungen erlangten Zahlen vielfach in ein anderes Licht gestellt, ohne dass dieselben jedoch ihre Bedeutung verlieren.

²⁾ Württemb. naturwissensch. Jahreshfte 1876. S. 168.

Wenn nun die grössere Abkühlung und Senkung auf Seite der oceanischen Gebiete der Erdrinde liegt, so muss das Correlat der Senkung, die Hebung, auf jene Theile der Erdrinde sich erstrecken, welche nicht oceanisch sind, d. h. trockenes Land sind oder auch nur mit seichtem, wärmeren Wasser bedeckt sind. Die Geographen weisen nun in der That darauf hin, dass die hohen Gebirge der Erde zumeist nahe den Rändern der Meere, besonders der grossen Oceane liegen und gegen das Meer zu ihren steileren Abhang wenden.³⁾ Das Hauptgebirge von Nord- und Südamerica umsäumt die eine Seite des Stillen Oceans; aber auch die asiatische Seite desselben wird durch die Gebirge der Mandschurei bis nach Hinderindien hinab umsäumt. Dem Indischen Ocean legt sich (in einiger Entfernung) gegenüber der Himalaya und das Gebirgsland, das die Ostseite von Africa erfüllt.

Um den schmaleren Atlantischen Ocean sind die Gebirge weniger hervortretend und weniger zusammenhängend. In dem vielgegliederten Europa hält vorzüglich das scandinavische Gebirg die Richtung als Randgebirge des atlantischen Meeres streng ein, dem auf der andern Seite das grönländische Gebirg entspricht; erst tiefer unten folgt in Nordamerica das Alleghanygebirg. Dana hat die Anordnung der Gebirge in Nordamerica besonders betont: dem grossen Stillen Ocean gegenüber liegt das hohe Felsengebirg, dem schmaleren Atlantischen Ocean gegenüber das weniger hohe Alleghany-Gebirge und in der Mitte das tiefe Stromgebiet des Mississippi. Aber auch in der Umgebung des südatlantischen Meeres stellt sich das brasilianische Küstengebirge ein, wie die Gebirge auf der westlichen Seite von Africa. Der weitere nicht unwichtige Umstand ist noch dabei hervorzuheben, dass, wie die grössten Meerestiefen sich unter den Tropen oder in ihrer Nähe vorfinden, so auch die höchsten Erhebungen der Gebirge.

Ferner weisen die Geographen auf eine Zone von Vulkanen hin, welche ebenfalls die Meere umgürten und den Continenten vielfach auf Inseln vorgelagert ist. Es fällt ihnen somit jene Zone zu, welche zwischen den Gebieten der Senkung, (Oceanen) und den Gebieten der Hebung (Continenten) zwischen inne liegt. Da wo diese beiden Gebiete sich berühren, darf man wohl mit Recht eine Zone annehmen, deren Boden Zerrungen und Spannungen unterliegt, als deren sichtbarer Ausdruck die vulcanischen Erscheinungen sich darzustellen scheinen. Wieder ist es das grosse Senkungsgebiet des Stillen Oceans, welches auch diese Zone zum deutlichsten Ausdruck gelangen lässt; dem asiatischen Gestade legen sich von Kamtschatka an die Vulcanreihen der Kurilen, der japanesischen Vulcane, Philippinen, Molukken, Sundainseln etc. in dicht gedrängtem Kranze vor; dem americanischen Gestade entlang ziehen dieselben in langgedehnten

³⁾ cf. Peschel: Neue Probleme, 4. Aufl. S. 86.

Reihen von den Aleuten an und setzen sich dann vielfach in Verbindung mit dem umsäumenden Kettengebirge selbst. Der Indische Ocean participirt auf seiner Ostseite an den Vulcanreihen des Stillen Oceans, weist aber auch auf seiner Nordseite (Indien) und Westseite (Madagaskar) Vulcane auf. In der Umgebung des schmaleren Atlantischen Oceans sind grosse Lücken vorhanden. Gut besetzt sind nur die tropischen Gegenden auf beiden Seiten desselben; auf der americanischen Seite die Antillen und auf der andern Seite die Canarischen Inseln, Azoren und Capverdischen Inseln. Auch bei dem Stillen und Indischen Ocean sind wiederum die Tropen mit den dichtesten Reihen von Vulcanen besetzt.

Die Meerestiefen einerseits und die Gebirge und Vulcanreihen andererseits, stehen unter sich, trotz aller Freiheit in einzelnen Partien, in so gutem Zusammenhang, dass die Berechtigung zur Annahme einer gemeinsamen Ursache nicht von der Hand gewiesen werden kann. Andererseits stellt die ungleiche Abkühlung, welcher die Erdrinde in den oceanischen und nicht oceanischen Gebieten unterliegt, die Forderung, dass die Gebiete der Senkung und Hebung in ihrer gegenseitigen Lage nachgewiesen werden, weil dieselben nothwendig zu einem geographischen Ausdruck gekommen sein müssen. Beide in ihrem Ausgangspunkt verschiedenen Wege treffen somit zusammen und sind dadurch geeignet, einer dem andern zur Stütze zu dienen und sich gegenseitig zu bestätigen.

In hohem Grade interessant ist desshalb eine Berechnung von Dr. Krümmel¹⁾, wonach es »mehr als wahrscheinlich ist, dass zwischen dem Gewicht des Wassers der Meere und der Erdfesten (im Sinn Krümmels) ein Gleichgewicht besteht.« Was Krümmel unter »Erdfesten« versteht, gibt er auf S. 106 seiner citirten Schrift an: »was wir Continente heissen, ist ja nur der oberste Theil der gesammten Erdfesten, soweit sie von der Luft bespült sind. Denken wir uns das Meer trocken gelegt, so würden die Erdfesten, nach Humboldts Ausdruck, wie gewaltige Plateaux aus dem Meeresboden aufsteigen. Die unsichtbaren Festländer ruhen also auf mächtigen Sockeln, deren Höhe gleich ist der Mitteltiefe der Meere.«

Die Erdfesten in diesem erweiterten Sinn, gegen dessen Berechtigung nichts einzuwenden ist, können nach Krümmels Rechnung nur 2,43 mal in die Meerestiefen hineingeschüttet werden. Krümmel begründet das durch weitere Ausführung und man ersieht aus diesem Ergebniss alsbald, dass hier nahezu ein Gleichgewicht zwischen der Masse der Gewässer des Meeres und jener der »Erdfesten« obwalten wird, weil das specifische Gewicht der Mineralien,

· ¹⁾ Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume S. 109.

aus denen die Erdrinde besteht, jedenfalls um 2,5 herum beträgt, was mit der obigen Ziffer (2,43) fast genau zusammenfällt.

Etwas wesentlich anderes ist das Volumen jener Landmassen, welche frei über dem Meeresspiegel sich erheben und von der Luft umspült werden. Nach der Berechnung von Krümmel, der sich hierbei auf die neuesten und, soweit möglich, zuverlässigsten Grundlagen stützt, könnte man das Volum derselben (das über den Spiegel des Meeres frei emporragt), 21,4 mal in die Meeresräume hineinschütten (1 e. S. 106).

Es ist offenbar ein fruchtbarer Gedanke Krümmels, nicht bloß die Ausdehnung des wirklich sichtbaren festen Landes zu berechnen, sondern auch den Sockel desselben bis zur Mitteltiefe der Meere und das beiderseitige Gewicht der Gewässer des Meeres und der Erd-festen in diesem weiteren Sinn mit einander zu vergleichen. Die allgemeinen Begriffe der Correlation von Senkung und Hebung leiden, trotz ihrer physicalischen Zulässigkeit, doch bei der Anwendung auf concrete Verhältnisse an einer gewissen Vagheit, welche zu überwinden man sich bestreben muss. Der Druck insbesondere setzt nicht bloß eine Volumverminderung sondern ein Mehrgewicht an den betreffenden Stellen voraus, oder mit anderen Worten, es ist eine Vermehrung nicht bloß des specifischen Gewichtes erforderlich, die durch die Volumverminderung bewirkt wird, sondern eine Vermehrung des reellen Gewichtes der drückenden Masse. Die Krümmel'sche Erörterung ist nun ganz dazu geeignet, darüber grössere Klarheit zu verbreiten. In jenen Gegenden, welche durch die stärkste Abkühlung eine stärkere Volumverminderung erlangt haben, legt sich das Meerwasser in entsprechend grösserer Tiefe hinein; sein Mehrgewicht addirt sich zu dem schon zuvor vorhandenen Gewicht der Mineralien der Erdrinde und ruft so einen Druck hervor, der auf die Unterlage eine entsprechende Wirkung ausübt. Da die Unterlage nicht unnachgiebig ist, so werden die Theile derselben diesem Druck auszuweichen suchen nach solchen Gegenden hin, welche keinen oder einen geringeren Druck erleiden und rufen dort Hebungen hervor, welche dem Druck proportional sind. Dass nun die Massengewichte der »Erdfesten« und der Meeresgewässer sich ungefähr das Gleichgewicht halten, ist jedenfalls ein überraschendes Verhältniss, das geeignet ist, auf die gegenseitigen Beziehungen zwischen Meer und Land, Senkung und Hebung und auf die Ursache der Gebirgserhebung selbst, ein neues Licht zu werfen.

Damit ist eine andere Annahme, dass nämlich die auf dem Grunde des Meeres sich niederschlagenden Sedimente den Druck veranlassen, nicht bloß wesentlich verbessert, sondern als überflüssig beseitigt. Die Sedimente, die auf dem Grund des Meeres sich nieder-

legen, entziehen sich selbstverständlich jeder genaueren Schätzung und Berechnung, sowohl was das Volum als das Gewicht derselben anbelangt; die Annahme, dass durch sie ein Druck auf ihre Unterlage ausgeübt werden könne, ist keineswegs absurd, aber es fehlt ihr jede nähere Bestimmtheit. Dagegen ist der Druck, der durch die Gewässer des Meeres veranlasst wird, der Berechnung zugänglich und stellt sich als ein so gewaltiger heraus, dass die Herbeiziehung anderer mitwirkenden Ursachen überflüssig wird.

Wenn man nun Volumverminderungen und Senkungen der Erdrinde in Folge der (ungleichen) Abkühlung zugibt, wenn man zugibt, dass die feste Erdrinde ungleichen Druck erleidet und ihrerseits wieder auf ihre Unterlage ausübt, so möchten sich die weiteren Folgen unbeanstandet von selbst ergeben. Wenn man wirkliche Senkungen zugesteht, so wird man auch wirkliche verticale Hebungen nicht ablehnen können. Die Kraft zu letzteren ist vorhanden und es müssten die hemmenden Ursachen bezeichnet werden, wenn die Aeusserung dieser Kraft nicht sollte ins Dasein getreten sein. Dass im Gefolge der Senkungen und Hebungen sich dann auch horizontale Bewegungen einstellen können, bedarf keiner weiteren Darlegung; aber die nothwendige Voraussetzung der letzteren sind die erstgenannten verticalen Bewegungen. Die Ueberwindung der unvermeidlichen Friction bei der Bewegung der Erdschollen wird freilich noch überdies ganz ausserordentlich grosse Kräfte für sich in Anspruch nehmen. Allein der ununterbrochen durch Jahrtausende hindurch wirkende Druck, der von den Senkungsgebieten ausgeübt wird, vermag durch seine Dauer Wirkungen zu erzielen, die ohne diese allerdings unmöglich wären.

Scheinbare Unregelmässigkeiten in der Vertheilung von Land und Meer (Senkung und Hebung), können nicht irre leiten. Wenn der tiefe Ocean durch seine kalten Grundwasserströmungen in der Hauptsache sich als Gebiet der Senkung qualificirt, so ist damit nicht ausgeschlossen, dass bei kleineren Partien innerhalb desselben auch Hebungen sich einstellen. Es ist bekannt, dass Neuseeland auf der einen Seite sich hebt, auf der andern sinkt und neben vielen sinkenden Laguneninseln treten auch andere Punkte mitten im Ocean auf, die sich heben. Es ist ganz im Einklange mit der Ursache der Senkung und Hebung, dass der Haupteffect der Senkung dem Meere selbst zufällt, der Haupteffect der Hebung aber auf die Peripherie des Meeres, an den Rand der Continente hinausgeschoben wird; dessungeachtet kann sich da und dort auch innerhalb des Senkungsgebietes selbst eine Hebung geltend machen. Die kalten Strömungen auf dem Grunde des Meeres halten sicher nicht zu allen Zeiten und an allen Orten genau die gleiche Richtung ein, sondern können, innerhalb nicht unbedeutender Grenzen, hin und her schwanken, so dass eine Abwechslung zwischen Senkungs- und Hebungsfeldern statt-

finden kann und eine Wiederholung der Schwankungen zu verschiedenen Zeiten selbst in entgegengesetztem Sinn. Die zahlreichen Schwankungen, die von der beobachtenden Geologie während des Verlaufs der geologischen Entwicklung nachgewiesen sind, werden wohl in der That auf keine anderen Ursachen zurückgeführt werden können. Ohne den Gegenstand weiter zu verfolgen, möchte es erwünscht sein, für diese Erscheinung ausser jener Umsetzung der Oeane von der einen Halbkugel auf die andere, wie sie von Prof. D. Schmick befürwortet wird, noch eine andere Ursache zur Disposition zu haben.

Man möchte sogar versucht sein, ein solches erst in einer jüngeren Erdperiode verlassenes Meeresstromgebiet, von dem sich nur noch Reste erhalten haben, zu vermuthen. Das Mittelmeer besonders trägt mehrere solcher Kennzeichen an sich; es ist ausgezeichnet durch ansehnliche Gebirge, die dasselbe umkränzen und ihren Steilrand ihm zukehren (spanische Gebirge, Alpen, Atlas) und weist an seinen Rändern auch eine nicht unbedeutende Zahl von Vulcanen auf. An dasselbe schliesst sich das Schwarze Meer, das in der Richtung gegen das Caspische Meer durch das Hochgebirge des Caucasus noch eine besondere Bedeutung erhält. Auch die fast unmittelbare Nähe des Rothen Meeres, des Ausläufers des Indischen Oceans, muss wohl beachtet werden. Von Norden her aber erstreckt sich durch ein weites Tiefland hindurch das Uralgebirge nach Süden weit herab, so dass man dem Eindruck sich hingeben möchte, als ob hier ein alter verlassener Stromweg des Meeres von Pol zu Pol vorhanden sei, der indessen unterbrochen wurde, aber noch in seinen Ueberresten, nicht blos in den Meeren, sondern auch in den begleitenden Gebirgen und Vulcanen sich kund giebt.

Die Geologie wird wohl ihrerseits in ihrem weiteren Fortschreiten derartige Probleme ins Auge fassen müssen, wie die Geographie, nach dem Vorgange Peschel's und Anderer, bereits gethan hat, wenn auch ein abschliessendes Urtheil noch ferne liegt.

Mit der Adhémar'schen Theorie besteht bei dem Capitel von den Hebungen keine Concurrenz, da dieselbe keinerlei Gesichtspunkte eröffnet, welche auf diesen Gegenstand irgend ein Licht zu werfen geeignet wären.

Viertes Capitel.

Ueber die Zeit der Hebung der Continente und Gebirge.

Die Zeit, beziehungsweise die geologische Periode, innerhalb deren sich die Unterschiede zwischen Meer und Festland gebildet haben, wie sie ungefähr heute noch bestehen, wurde bei den bisherigen Erörterungen in der Schwebe gelassen; es wurde das Vorhandensein derselben als eine gegebene Thatsache angenommen. Wenn nun aber auch der Frage näher getreten wird, wann, in welcher geologischen Periode das heute noch in den Hauptzügen bestehende Verhältniss zwischen Festem und Flüssigem auf der Erdoberfläche sich festgesetzt habe, so muss man sich mit zwei vielfach Hand in Hand gehenden Fragen beschäftigen, nämlich: Wann traten die Continente auf und wann die hohen Gebirge?

Was den ersten Punkt betrifft, so glaubt Peschel,¹⁾ dass das Flächenverhältniss zwischen Wasser und Land, annähernd wie 5 : 2, auch in früheren Erdzeitaltern das nämliche gewesen sein möge. Somit würden die Continente in ihrem wesentlichen Umfang und Flächeninhalt bis in die alten Erdperioden zurückzudatiren sein. Allein die Beobachtungen der Paläontologen sind hiermit nicht in Einklang zu bringen. Wäre es wirklich Thatsache, dass die Continente in ihren Hauptzügen tief in die Reihe der geologischen Perioden zurückreichen, so müssten auf ihrem Gebiete die meerisehen Sedimente fehlen oder jedenfalls nur sehr untergeordnet an den Rändern der Continente auftreten; das Innere der Continente aber müsste von aufeinanderfolgenden Süsswasserbildungen erfüllt werden, oder auch, im Falle dass das Land trocken war, müssten Sedimentbildungen überhaupt fehlen. Nun ist aber bekannt, dass meerische Schichtencomplexe nicht nur nicht fehlen, sondern eine sehr grosse Verbreitung auf den Continenten haben, während Süsswasserbildungen erst in den jungen geologischen Perioden eine Rolle spielen. Schon in den mittleren und noch mehr in den alten Perioden treten dieselben gegenüber den Meeresbildungen entschieden zurück, im Durchschnitt desto stärker, je älter die Formation ist. Die Kärtlein, welche oft zur Illustration über die Vertheilung von Meer und Land entworfen werden, geben hiervon eine Anschauung, jedoch nur eine ungenügende. Dieselben begnügen sich in der Regel, jene Schichten, z. B. des Jurameers einzutragen, welche zu Tage treten; wo dieselben aus irgend welchem Grund, z. B. wegen Denudationen, fehlen oder auch nur nicht zu Tage treten, nicht direct nachweisbar sind, weil verdeckt, werden sie auch nicht eingetragen und wird hier der Vermuthung Raum gelassen,

¹⁾ Neue Probleme der Erdkunde, S. 110.

dass hier Land gewesen sein könne. Man wird an solche Illustrationen selbstverständlich keine sehr strengen Anforderungen stellen können, aber sie räumen in vielen Fällen den Landmassen einen viel zu grossen Spielraum ein. Wollte man nach dem gleichen Grundsatz verfahren und Land blos da angeben, wo dasselbe durch Süsswasserbildungen nachgewiesen ist, den ganzen Rest aber als Meer bezeichnen, so würde sich ergeben, dass, mit Ausnahme der jüngsten Perioden, das Festland und die Süsswasserbildungen eine in hohem Grade untergeordnete Rolle spielen. Die Zeit ist freilich noch fern, da ein richtiges Bild von der ursprünglichen Vertheilung von Land und Wasser in jeder Periode gegeben werden kann; aber diese wenigen Bemerkungen mögen genügen, um zu zeigen, dass die Auffassung Peschel's nicht stichhaltig ist. Hierzu kommen noch die climatischen Verhältnisse, welche in neuester Zeit, besonders auf Grund der fossilen Pflanzen, man darf sagen, festgestellt werden konnten. Die Untersuchungen von Heer und des Grafen Saporta geben ganz feste Anhaltspunkte dafür, dass, je weiter man in die alten Perioden zurückgeht, das Clima immer mehr den Charakter des oceanischen Climas erlangt. Gleichförmigkeit bis zur gänzlichen Verwischung der climatischen Zonen und zugleich anschnliche Wärme sind so stark hervortretende Züge der alten Perioden, dass an der sehr vorherrschend oceanischen Beschaffenheit der Erdoberfläche nicht gezweifelt werden kann und eben damit Continente im heutigen Sinne ausgeschlossen sind. Erst in der Tertiärzeit (beziehungsweise in der obersten Kreideformation) machen sich zonenweise Abstufungen der Temperatur allmählich geltend. Das ist aber zugleich die Zeit, in welcher auch in der That der heutige Zustand der Vertheilung des Festen und Flüssigen sich allmählich anbahnt. Aber noch zur eocänen und mittelmiocänen Zeit ist das Clima vom heutigen weit genug entfernt, ganz im Einklang damit, dass das Numulitenmeer, Molassenmeer und sarmatische Meer damals wenigstens unsern Continent mehr oder weniger zerstückelten und in Inseln auflösten. Erst in der pliocänen Formation nähert sich das Clima ganz deutlich dem heutigen. Das war aber auch die Zeit, in welcher die Landmassen in der Hauptsache ihre heutige Gestaltung erlangt haben und die Untersuchung der quartären Schichten ergibt, dass, mit Ausnahme localer Oscillationen, die Continente in die quartäre Zeit schon fertig eingetreten sind. »Das quartäre Glacialphänomen entwickelte sich auf dem heutigen Boden« (Penk: Vergletscherung der deutschen Alpen, S. 445).

Hand in Hand mit der Frage nach der Zeit der Bildung der Continente geht die andere Frage: nach der Zeit der Erhebung der hohen Gebirge. Bei einer Anzahl der wichtigsten Hochgebirge sind die Untersuchungen der Geologen so weit gediehen, dass der Abschluss der hauptsächlichsten Erhebung direct durch Beobachtung der Lagerung constatirt ist. In den

Alpen z. B. ist die obere Süsswassermolasse noch mitgehoben worden; die Zeit der letzten, den gegenwärtigen Zustand bedingenden Erhebung fällt somit in die Pliocänperiode. Dergleichen hat in der Tertiärzeit die Hebung des Himalaya, der Anden und Cordilleren, des Caucasus, stattgefunden; überhaupt wird dem Grundsatz, dass die höchsten Gebirge die jüngsten und die jüngsten die höchsten seien, Geltung zuerkannt. Eine Unsicherheit wird nur durch das Bedenken hervorgerufen, dass in den alten Perioden wohl schon Hochgebirge bestanden haben könnten, aber durch Verwitterung abgetragen worden seien. (cf. Peschel l. c. S. 134.)

Diesen Bedenken möchte jedoch kein grosser Werth beizulegen sein. Wenn grosse Gebirge im Laufe der Zeiten durch Erosion und Verwitterung auch in der That zerstört werden können, so bilden sich dabei ganz charakteristische Zerstörungsproducte, welche von denselben auch nach ihrer Zerstörung noch Kunde geben müssten. An den heutzutage bestehenden Hochgebirgen, welche ja auch den zerstörenden Einflüssen schon lange unterliegen, lassen sich diese Producte leicht studiren. Es sind vorzüglich Gerölle, die sich als Erzeugniss von stark fliessenden Gebirgsgewässern zu erkennen geben und die als Geröllbänke, Nagelflue, in die Reihe der Schichten eintreten, ohne ihren specifischen Charakter je ganz zu verlieren. Erst in weiter Entfernung vom Gebirge setzen sich Lehmschichten ab, oder Schichten von Schlamm und Sand, die eine mehr homogene Beschaffenheit zeigen, während in der Nähe der Gebirge selbst die Gerölle sehr gemischt sind, dem mannigfaltigen mineralischen Charakter der Gebirgsketten entsprechend, durch welche die Bäche und Flüsse ihren Lauf genommen haben. Eine ganz eigenthümliche und sehr sorgfältig untersuchte Beschaffenheit tragen ferner die Producte der Gletscher an sich (erratische Blöcke und gekritzte Steine etc.). Allein alle diese Erzeugnisse sind vor der Tertiärzeit nicht nachzuweisen und die Gletscherproducte selbst nicht vor der Quartärperiode. Nach dem Zeugniss der Polarfahrer sind selbst in den Polarländern in den Schichten der Tertiärzeit und der früheren Perioden keinerlei Gletscherproducte vorhanden.¹⁾ Jedenfalls treten jene Schichten, welche der Abtragung von Gebirgen ihre Entstehung verdanken, als eigentliche Gebirgsformen erst in der Tertiärzeit auf (Nagelflue) und setzen in die quartäre Zeit und in die Gegenwart herein, indem sie überall ihren Ursprung deutlich genug verrathen. Die Conglomerate des Rothliegenden etc. dürfen nicht damit verwechselt werden. Dieselben sind nach Naumann²⁾ eine Bildung »die gleichzeitig mit

¹⁾ cf. Heer: Kreideflora der arctischen Zone im III. Band der Flora fossilis arctica, S. 30 und dessen Urvwelt der Schweiz, II. Auflage, S. 668 Note, woselbst das sehr auffallende Vorkommen von erratischen Blöcken im Miocän der Superga besprochen und gedeutet wird.

²⁾ Lehrbuch der Geognosie, II. Band, S. 593.

Eruptionen porphyrartiger Gesteine, oder doch gleichzeitig mit solchen Erzeugnissen stattfand, wie sie dergleichen Eruptionen entweder vorangehen oder nachzufolgen pflegen.« Bei letzteren handelt es sich somit gar nicht um allmähliche Abwitterung eines alten Gebirgs, sondern um Zertrümmerung der Schichten durch Eruptionen. Selbst die Nagelfluen der Tertiärperiode setzen noch nicht eine bedeutende Höhe des abzutragenden Gebirgs voraus. Die gewaltige Mächtigkeit derselben lässt sich nur erklären, wenn man eine stetige Senkung des Bodens an dem Orte ihrer Bildung annimmt, wobei dann die Höhe des Gebirgs selbst nicht weiter von Bedeutung ist. Ferner wurde von manchen Paläontologen darauf hingewiesen, dass die sonderbare Mischung der Flora der Tertiärzeit, besonders der Miocänzeit, die Annahme begünstige, dass in derselben Erzeugnisse der Ebene und der Gebirge vorliegen. Allein an vielen Orten kommt genau die gleiche Mischung vor, ohne dass man irgend einen Anhaltspunkt besässe für obige Annahme; der ganze Bau mancher Gegenden (Oeningen, Heggbach etc.) spricht dafür, dass die miocänen Schichten, die heutzutage nur ganz geringe Niveauunterschiede unter sich zeigen, in der Tertiärzeit selbst auch flacher gewesen sein mögen, als jetzt. Die Standorte jedoch der Pflanzen können mannigfaltig gewesen sein, entweder sehr sandig, felsig und trocken, oder aber auch sehr feucht, womit eine ausreichende Erklärung des Vorkommens gegeben ist. Nach Erörterung dieser Fragen erscheint es mehr als wahrscheinlich, dass die Continente, wie auch die Gebirge, in einer verhältnissmässig sehr jungen geologischen Periode ins Dasein getreten sind.

Was befand sich nun ehemals an Stelle der heutigen Continente? Wir können mit der Antwort nicht zögern: Archipele von kleineren und grösseren Inseln. Sie erfüllten mehr oder weniger dicht gedrängt den Raum, den heute die Continente einnehmen und ohne Zweifel auch noch andere Räume, hauptsächlich in dem weitgedehnten Stillen Ocean. Die Coralleninseln daselbst werden oft als Zeugniss eines untergesunkenen Continents betrachtet; mit gleichem und vielleicht besserem Recht wird man dieselben als Anzeichen eines versinkenden Archipels auffassen können.

Freilich spricht sich auch Professor Heer auf Grund seiner reichen Erfahrungen über die paläontologischen Zustände der nordischen Gegenden im Sinne von Festlandmassen daselbst schon zu einer früheren Tertiärzeit, vielleicht schon zu Ende der Kreidezeit aus. Im VII. Bande seiner *Flora fossilis arctica*, S. 220 heisst es: »Welche Gestalt Grönland zur Tertiärzeit gehabt habe, lässt sich nicht bestimmen. Der grosse Reichthum seiner Flora lässt uns aber nicht zweifeln, dass wir es hier nicht mit kleinen Inseln, sondern mit einem grossen Festland zu thun haben. . . . Zur Tertiärzeit bestand wahrscheinlich eine Landverbindung mit Europa

über Island, die Farör und Schottland, wodurch wir eine Brücke für die zahlreichen Pflanzen erhalten, welche Grönland mit Europa gemeinschaftlich hat und die wahrscheinlich vom Norden ausgegangen sind. Die Tiefseekarten zeigen uns, dass das Meer zwischen Europa und Ostgrönland eine geringe Tiefe hat. Dass dieses tertiäre Festland von Grönland hoch in den Norden hinaufreichte, zeigt uns das Pflanzenlager von Grinnellland, das noch bei fast 82° n. B. die Grönländer Tertiärflora ausweist; und dass es zeitweise bis Spitzbergen reichte, macht die beträchtliche Zahl ihrer gemeinsamen Arten sehr wahrscheinlich.«

Aber ich glaube doch nicht, dass die aufgeführten Thatsachen zu einem solchen Schlusse nöthigen, aus folgenden Gründen:

1) Wenn eine Festlandverbindung zwischen Grinnellland, Grönland, Spitzbergen und Island bis nach England und dem europäischen Continent auch nur zeitweilig bestanden hätte, so wäre hier ein so gewaltiges Stück Festland im hohen Norden vorhanden gewesen, dass es undenkbar ist, wenigstens auf unserem Standpunkt, dass hier ein Clima herrschen konnte, wie gerade die Paläontologen dasselbe mit Recht fordern. Dieser ansehnliche Continent (den auch Wallace skizzirt), hätte sich in hohen Breiten unausbleiblich ein Clima gebildet, das mit jenem von den Paläontologen geforderten in schroffstem Gegensatze gestanden wäre.

2) Zur Steinkohlenzeit ist unbestritten die Uebereinstimmung der Flora unter sich in allen Breitegraden eine noch ansehnlich grössere, als zur Miocänzeit. Sollte man sich genöthigt crachten, daraus zu schliessen, dass zur Steinkohlenzeit über alle jene Breitegrade hin, auf welchen sie sich vorfindet, ein zusammenhängendes Festland sich ausgebreitet habe? Das wäre ein Continent, der die heutigen Continente nicht blos an Ausdehnung erreicht, sondern, besonders in hohen Breiten, noch übertrifft. Ich kann nicht glauben, dass man sich zu einem solchen Wagniss entschliessen kann; es steht dem nicht blos der meerische Bergkalk dieser Periode entgegen, sondern der gesammte Charakter der Flora selbst, der nicht auf ein grosses Festland, sondern auf insulare Lage hinweist. Ich glaube, dass für die Steinkohlenperiode die Annahme von niedrigen sumpfigen zerstreuten Inseln und Archipelen allein entsprechen kann; dass somit auch für die Miocänzeit ein solcher geographischer Zustand nicht absolut abzulehnen sein wird, wenn auch die Inseln und Archipele in dieser Zeit an Umfang und Erhebung gewonnen haben. Eine nähere Verbindung der Archipele selbst unter sich und durch andere Archipele in dem jetzt leeren Raume der Oceane ist damit nicht ausgeschlossen, sondern wird unbeanstandet zuzulassen sein; nur muss auch Raum gelassen werden für die Circulation der oceanischen Gewässer, namentlich für den Erguss warmen Wassers bis in die höchsten Breiten hinauf. Das kann aber nur eintreffen bei der Annahme von Archipelen.

Eine wirkliche ununterbrochene Landverbindung von Grönland über Island und die Farörinseln nach Schottland hätte, auch wenn man sich nur eine schmale aber ununterbrochene Verbindung vorstellt, den Erguss warmen Wassers in die hohen Breiten abgeschnitten und damit die Erhöhung der Wärme in jenen Gegenden ausgeschlossen. Der im siebenten Band der *Flora fossilis arctica* mitgetheilte, auf Autopsie beruhende Bericht Steenstrups (l. c. S. 230) über die Lagerungsverhältnisse der Grönländischen Schichten ist in der That unserer Auffassung günstig. Er glaubt, dass die Wälder auf Gneissfelsen daselbst gewachsen seien und die Pflanzschichten nur die durch das Meerwasser abgelagerten Ueberreste aufweisen. Beide aber, Heer und Steenstrup, sprechen sich gegen Nordenskiöld aus, welcher dem Grönländischen Festland den Charakter einer von Oasen unterbrochenen Sandwüste zur Zeit der Kreide- und Tertiärformation beilegt (cf. l. c. S. 226 und 230).

Das Stadium des Archipels ist überhaupt eine ganz naturgemässe Entwicklungsstufe. Wenn ein Continent niedersinkt, so löst er sich zunächst in einen Archipel auf und wenn ein Continent sich erheben will, so muss er zuvor die Stufe eines Archipels zurückgelegt haben. Man kann sich auch gar nicht denken, wie dieses Stadium übersprungen werden könnte. Ein ganz gleichmässiges Auftauchen einer gewaltigen Fläche, wie die Continente sind, ohne alle Höhenunterschiede, ist an sich schwer vorzustellen; sind aber Höhenunterschiede da, so ist auch ein Archipel gegeben. Wenn aber in abstracter Weise auch diese Möglichkeit angenommen würde, so wird das nie rastende, durch Stürme und Ebbe und Fluth bewegte Meer eine solche Fläche allseitig an den verwundbaren Punkten angreifen, in dieselben einzudringen suchen und schliesslich sie in Theile zerlegen oder, was das gleiche ist, dieselbe nachträglich in einen Archipel umzugestalten suchen. Mit der Existenz von Archipelen an Stelle der Continente sind am besten auch die climatischen Zustände der Vorzeit zu vereinigen. In einem Continent ändert sich das Klima alsbald ab im Sinne und in der Richtung eines excessiven Verlaufes; ein Archipel vermag das nicht; hier bleibt das oceanische Klima herrschend. Es weisen somit alle Beobachtungen, welche der frühen Existenz von geschlossenen Continenten entgegenstehen, positiv auf Archipele hin, sowohl die, gegenüber den meerischen Sedimenten, spärlichen Sedimente von süssem Wasser, als auch die wichtigen climatischen Zustände der alten und mittleren Formationen. In der Tertiärzeit erst machte die terripetale Tendenz (Bronn) raschere Fortschritte, um gegen das Ende derselben jenen Umfang zu erreichen, der gegenwärtig besteht. Damit Hand in Hand geht auch die Scala der climatischen Entwicklung. In der ersten Abtheilung wurde jedoch schon hervorgehoben und zu begründen versucht, dass, um die hohe Gleichförmigkeit und Wärme der alten und mittleren Perioden zu begreifen, noch eine

Umhüllung, eine Dunsthülle, von den Wendekreisen zu den Polen hin angenommen werden müsse.

Wenn eine Berechtigung zu der Annahme, dass die Continente und hohen Gebirge erst in sehr jungen geologischen Perioden ins Dasein getreten seien, nach dem Standpunkte, der in obiger Darlegung zu begründen gesucht wurde, auf keine unüberwindlichen Hindernisse stossen dürfte, so ist damit doch nur der empirische Sachverhalt constatirt. Die weitere Aufgabe, der man sich nicht wird entziehen können, wird sein, die Gründe dieser Vorgänge wie sie in der Natur und Entwicklung der Verhältnisse liegen, aufzusuchen und darzulegen. Erst wenn es gelingt, auch die Zeit der Erhebung der Continente und Gebirge in Zusammenhang zu bringen mit der terripetalen Entwicklung und climatischen Umgestaltung der Erdoberfläche und dieselben schliesslich unter dem allgemeinen Princip der (ungleichen) Abkühlung der Erdoberfläche unterzubringen, — wird die angestrebte Lösung der Frage befriedigen können.

Die bisherigen Versuche, die Zeit der Erhebung der Gebirge zu motiviren, bewegen sich wesentlich vielfach um die Vorstellung, welcher Pilar (Abyssodynamik, S. 192) einen bündigen Ausdruck verleiht: »Der Wärmeverlust und folglich auch die Contraction des Erdkerns wird ja progressiv stärker«, wobei die Vorstellung zu Grunde liegt, dass die Gebirge das Product der Contraction der Erdrinde seien. Allein diese Annahme einer progressiven Verstärkung ist physikalisch nicht haltbar. Mousson ¹⁾ sagt über das Erkalten einer sehr grossen Kugel: »Bei einer ungemein grossen und schlecht leitenden Kugel kann die oberflächliche Temperatur so weit sinken, dass der äussere Wärmeabfluss sehr schwach wird; zum Ersatz braucht nur sehr wenig nachzufließen und der Körper stellt einen grossen Wärmevorrath dar mit nahezu unveränderlicher Temperatur, der seine Wärme sehr lange bewahrt«. Der Wärmeverlust der Erde wird demnach nicht in dem Sinne progressiv stärker, dass durch ihn progressiv immer stärkere Wirkungen hervorgebracht würden; im Gegentheile, die Energie desselben nimmt immer mehr ab und die Wirkungen werden stets schwächer. Jene Vorstellung hätte nur in dem Falle etwa eine gewisse Berechtigung, wenn man sich der Ansicht hingeben dürfte, als ob die Erhebung der Continente und ganzer Kettengebirge durch die Spannkraft von Gasen verursacht worden wäre. Bei solcher Annahme könnte man zugestehen, dass, je dicker die Erdrinde wurde im Laufe der geologischen Perioden, die Ausbrüche der Gase wegen des Widerstandes in immer grösseren, längeren Pausen, aber dann um so energischer sich einstellten und ihre Wirkung eine um so grössere war. Allein jene Ansicht ist mit vollem Recht längst verlassen worden.

¹⁾ Physik auf Grundlage der Erfahrung, II. Theil, S. 153.

Eine andere Vorstellung fasst die Gebirge unter dem Gesichtspunkte der Runzelung auf, als ein Nachsinken der Rinde auf den zu klein gewordenen Kern. Dieselbe geht von der Voraussetzung aus, dass zur Zeit, als die hohen Gebirge entstanden, der Kern der Erde sich aus irgend welcher Ursache beträchtlich stärker abgekühlt habe, als die Rinde, so dass ein Niedersinken der zu grossen Rinde auf den zu kleingewordenen Erdkern unter kräftiger Runzelung der ersteren erfolgt sei. Aber abgesehen davon, dass mit dem Niedersinken der Rinde eine wirkliche Hebung der Gebirge in die Höhe nicht begriffen werden kann, geht diese Auffassung in ihrem Wesen von der sehr gewagten Voraussetzung aus, dass bei einer Kugel der Kern sich stärker abkühlen könne, als die Oberfläche. Pfaff bezeichnet diese Annahme¹⁾ geradezu als »physicalisch unmöglich.« Man darf sich in der That auch nur vergegenwärtigen, dass die Abgabe der Wärme von innen, wie die Abkühlung von aussen her, ihren Weg durch die Rinde hindurch nehmen muss; dass die Rinde die unvermeidliche Hülle ist, durch welche hindurch die Wärme der Erdkugel nach aussen hin, sei es gegen den Luftocan oder gegen den Wasserocean dringen muss; und ferner, dass diese Rinde, soweit sie aus crystallinischem Gestein besteht, den Process der Abkühlung und Erstarrung auch ihrerseits zuvor schon durchgemacht hat, um zu erkennen, dass einer solchen Annahme kein Raum gegeben werden kann.

Wenn freilich nachgewiesen werden könnte, dass der Ausdehnungscoefficient (resp. Abkühlungscoefficient) der Mineralien des inneren Erdkerns bedeutend grösser wäre, als jener Mineralien, welche die Rinde bilden, so könnte damit eine Grundlage für die Runzelung durch Nachsinken der Rinde auf den zu klein werdenden Kern gewonnen werden. Allein soweit die Stoffe des Erdinnern und der Rinde der Untersuchung zugänglich sind, so weichen sie von einander wenig ab, weil sie sämmtlich ganz vorherrschend Silicate sind. Gneusse und Granite einerseits und Basalte und Laven andererseits stellen die äussersten Glieder der gesammten Reihe dar, soweit man von ihr Kunde hat. Und doch müsste der Unterschied in den beiderseitigen Werthen der Ausdehnungscoefficienten sehr bedeutend sein, wann so grossartige Wirkungen, wie die Unebenheiten der Erdoberfläche mit Meerestiefen und Hochgebirgen, daraus erklärt werden sollten. Die Untersuchungen von Mallet²⁾ berechtigen jedoch nicht zu einem solchen Urtheil; zu schweigen davon, dass keinerlei Anhaltspunkte vorliegen, warum gerade in der Tertiärzeit und am Schlusse derselben diese, die Oberfläche der Erde umgestaltenden Ereignisse, sollten eingetreten sein. Die populäre Vergleichung mit einer sich runzelnden Orange ist jedenfalls nicht geeignet, über diese Schwierigkeit hinwegzuhelfen. Die Orange wirft Runzeln überhaupt

¹⁾ Mechanismus der Gebirgsbildung S. 56 und 105.

²⁾ Ueber vulkanische Kraft, übertragen von Lassaulx.

nicht wegen Abkühlung ihres inneren Kernes, sondern wegen ihres Verlusts an Saft. Es liegt also hier ein ganz anderes Motiv der Runzelung zu Grunde. Das Erdinnere erleidet zwar auch einen Verlust an Substanz durch die vulcanischen Eruptionen; allein die Masse der vulcanischen Auswürfe ist viel zu gering, um hierdurch eine Runzelung der Erde hervorzubringen, welche der Masse der Kettengebirge auch nur annähernd entsprechen würde.

Will man nun der Lösung dieser Frage nach der Zeit der Erhebung der Gebirge näher treten, so enthält dieselbe zwei Fragepunkte: 1) warum war die lange Reihe der alten geologischen Perioden so wenig geeignet, Continente und hohe Gebirge hervorzubringen und 2) welche Umstände begünstigten das Hervortreten derselben in der Tertiärzeit, hauptsächlich gegen das Ende derselben?

ad 1). Eine ungleiche Abkühlung musste sich auf der Erdoberfläche schon in der azoischen Periode, d. h. in jener Periode geltend machen, da der allumfassende Ocean, nach einer sehr allgemein angenommene Theorie, noch eine so hohe Temperatur besass, dass lebende Organismen in ihm nicht bestehen konnten. Wenn in dieser Periode auch die Warmwasserheizung eine sehr durchgreifende war und die damals bestehende constante Wolkenumhüllung eine sehr grosse Gleichförmigkeit der Temperatur überall, unter allen Breitengraden, herbeiführen musste, so musste doch das Wasser an den Polen und in ihrer näheren Umgebung eine, wenigstens um einige Grade geringere Temperatur annehmen, als am Aequator und unter den Tropen. Die Abkühlung ging unter dem Schutz der constanten Wolkenhülle sehr langsam vor sich, aber sie machte doch Fortschritte und in den höchsten Breiten etwas schnellere, als unter den Tropen. Somit stellte sich auch eine Strömung zum Zweck der Temperaturlausgleichung der Gewässer in ihren schwachen Anfängen ein. Die Gewässer an den Polen waren sicher nicht kalt im absoluten Sinne des Wortes, aber sie waren doch weniger warm, als die des Aequators; dadurch wurde eine Ausgleichung nöthig. Die relativ weniger warmen Gewässer flossen, nachdem sie auf den Meeresgrund niedergesunken waren, daselbst dem Aequator zu, während die wärmeren Gewässer des Aequators oberflächlich in die hohen Breiten abflossen. Sobald aber einigermaßen abgekühlte Wasser auf den Meeresboden niedersanken, fingen sie auch an, daselbst Wärme abzufordern, veranlassten auf dem Grund des Meeres langsame Verminderungen des Volumens oder Senkungen. Durch die Senkung des Meeresgrundes auf den besuchtesten Stromwegen der relativ abgekühlten Gewässer wurde so von Anfang an die Lage der Oeeane vorgebildet. In anderen Gegenden des Meeresgrundes aber, die nicht oder weniger von abgekühlten Wassern besucht wurden, traten ebenso langsam, als Correlat der Senkungen, Hebungen ein mit dem Charakter säcularen, ruhigen, gleichmässigen Aufsteigens. Die Hebungen blieben

aber zunächst noch lange Zeit submarin; es wurden die submarinen Sockel der späteren Continente langsam aufgebaut.

Da der allumfassende Ocean der ältesten Zeiten nach der Berechnung Krümmel's (Versuch einer vergleichenden Morphologie der Meeresräume S. 107) eine gleichmässige Tiefe von 1375 Faden oder 2461 m besass und die Wolkenhülle nur eine sehr langsame Abkühlung zuließ, so war eine sehr lange Zeit säcularer Senkung und Hebung erforderlich, bis nur der Meeresspiegel selbst erreicht wurde. Nur vereinzelte, wenig umfangreiche Inseln und nachher Archipele tauchten nach und nach auf; doch waren sie wegen des Fortganges der ungleichen Abkühlung trotz vieler Schwankungen in stetem Zunehmen begriffen. Die terripetale Tendenz (Bronn) der Erdoberfläche ist nur eine Folge der ungleichen Abkühlung derselben und gelangt nur durch das Stadium der vorherrschenden Archipelbildung hindurch zur Geltung. Wenn der Annahme überhaupt eine Wahrheit zu Grunde liegt, dass durch das Zusammenwirken von Senkung und Hebung der gegenwärtige unebene Zustand der Erdoberfläche hervorgebracht worden sei, so ist ein allmähliches Sinken des Meeresgrundes und allmähliches Steigen des trockenen Landes über die Meeresfläche, das ist das Stadium der Archipele, als nothwendige Consequenz nicht in Abrede zu ziehen. So lange jedoch das feste Land selbst in Archipele zerstückelt war, so lange war selbstredend auch noch keine Möglichkeit da für die Existenz jener Gebirge, welche die Räume von Contineuten in Anspruch nahmen.

Da der Process der ungleichen Abkühlung sich sehr langsam vollzog, so kann es nicht befremden, dass die alten und selbst die mittleren geologischen Perioden weder Continente noch Gebirge zeigen, die den Continenten entsprachen. Dies der Grund der Abwesenheit der Gebirge in den Urzeiten.

ad 2.) Allein die terripetale Entwicklung der Erdoberfläche machte stetige Fortschritte und die Zeit musste kommen, wenn auch spät, dass das feste Land einen Umfang gewann, der bei den climatischen Zuständen sich geltend zu machen anfang. Auf der Oberfläche bewirkt das feste Land gegenüber dem Ocean stärkere Schwankungen der Temperatur; das Land begünstigt durch Landwinde Unterbrechungen der constanten Wolkenhülle, wodurch der Unterschied zwischen Zustrahlung und Ausstrahlung der Wärme vermehrt wird. Die seitherige Gleichförmigkeit des Climas musste somit Einbusse erleiden, zumeist in jenen Gegenden, welche schon wegen des ungleichen Standes der Sonne in ihrem jährlichen Umlaufe, an sich stärker ausgeprägte Unterschiede der Jahreszeiten haben; in hohen und mittleren Breiten machten sich, gegenüber der früheren Gleichförmigkeit, andere climatische Zustände geltend,

die climatischen Zonen scheiden sich aus. In den Polarländern der nördlichen Hemisphäre sind in der That solche Zustände nachgewiesen. Zur Zeit der Steinkohlenformation, selbst noch zur Zeit der Juraformation bestand kein nachweisbarer Unterschied der Zonen; zu Ende der Kreideformation tauchen dieselben in schwachen Anfängen auf; in der Miocänzeit sind sie so weit vorhanden, dass Grinellland 8° C. mittlere Jahrestemperatur zeigt und Spitzbergen 9° C. gegenüber von c. 20° C. in mittleren Breiten (Schweiz) (cf. Heer *Urwelt*, zweite Auflage S. 657). In den genannten Polarländern war die Pflanzenwelt schon auf einen Winter eingerichtet; denn die Laubbäume daselbst trugen sämmtlich nur fallendes Laub. Die Winter waren sicher nicht streng, die Temperatur mochte vielleicht wenig unter 0° fallen, aber bei der langen Winternacht sich doch schon ziemlich lang auf einem niedrigeren Stand halten, wenn auch nur auf dem Lande selbst mit Ausschluss des Meeres. Vergleicht man mit diesen nordischen Zuständen jene des antarktischen Polarkreises, so fehlen hier freilich directe Beobachtungen ganz, aber es darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass der antarctische Continent eine viel centralere Lage einnimmt und nahezu den ganzen Polarkreis ausfüllt. Man braucht auch hier nicht anzunehmen, dass zur Tertiärzeit daselbst schon ein geschlossener Continent bestand; wenn auch nur ein Archipel daselbst sich vorfand, so wird wegen der ungünstigen centralen Lage desselben die Winterkälte daselbst eine strengere gewesen sein, als im Norden (Spitzbergen). Es ist eine Annahme, aber keine zu gewagte, dass zur Miocänzeit während des Winters der Frost hier seine Wirkungen nicht blos auf das Land ausübte, sondern auch auf die Buchten des Meeres erstreckte, dass sogenanntes Baieneis sich bildete; es ist möglich, dass zwischen den innersten Inseln dieses Archipels vielleicht monatelang eine Ueberbrückung durch Eis stattfand, so dass dann die Mächtigkeit und die Masse des Eises beträchtlich werden konnte.

Eine solche climatische Beschaffenheit, die ganz im Bereich der Möglichkeit und sogar der Wahrscheinlichkeit liegt, musste nun die tiefstgehenden und sehr weitverbreiteten Folgen nach sich ziehen. So lange überhaupt kein Eis bestand oder dasselbe nur auf dem Land selbst sich bildete, aber das Meer sich frei erhielt, bestanden immer nur relativ schwache Temperaturdifferenzen im Meerwasser selbst, die ebendeshalb auch nur langsame Folgen haben konnten. Die Ausgleichungen der Temperaturdifferenzen gingen auch jetzt nicht spurlos vorüber, aber ihre Folgen vertheilten sich in ruhigem Verlauf auf die lange Reihe der geologischen Reformationen.

Nun tritt aber das Eis mit ganz andern Ansprüchen an Temperaturausgleichung heran, als zuvor je gemacht wurden. Wir haben schon oben angeführt,

wiederholen aber absichtlich, dass ein Pfund Eis von 0° , vermischt mit einem Pfund Wasser von 79° C. zwei Pfund Wasser von 0° gibt¹⁾. Das Eis tritt somit, wenn es in einiger Ergiebigkeit gebildet worden ist, mit ungeheuren Ansprüchen hervor, mit vielmal grösseren, als das flüssige Wasser des Meeres selbst je machen kann und diese Ansprüche werden an den Meeresboden gerichtet. Nachdem nämlich das Eis selbst geschmolzen ist, sinken die kältesten, dichtesten Wasser zu Boden und verbreiten nun über den Meeresboden hin eine eisige Temperatur, die ausschliesslich auf Ausgleichung vom Meeresboden aus angewiesen ist, von da Wärme abfordert und den Meeresboden zu Volumverminderungen und Senkungen veranlasst, wie sie in solcher Stärke und Ausdehnung zuvor nie geltend gemacht wurden. Es beginnt also nun ein rascheres Tempo der Senkungen und Hebungen. Nicht als ob eine neue andere Ordnung der Dinge eingeführt würde; die alten Gesetze der ungleichen Abkühlung walten fort, aber mit grösserer Energie und wachsender, sich steigernder Kraft. Und in gleicher Weise verstärken sich nun auch die Wirkungen, nämlich: die Vertiefung des Meeres und die Erhebung der Continente und Hochgebirge. Die Archipele schliessen sich zusammen und werden zu Continenten und um die Hauptsenkungsplätze der Meere herum gruppieren sich die Hochgebirge. Auch die Zone, die zwischen ihnen liegt, zwischen den Gebieten der Senkung und Hebung, thut sich in der äussern Erscheinung hervor; auf ihr gruppieren sich vorzüglich die Vulcane und gibt sich die innere Spannung und Bewegung des Bodens kund in zahlreichen Erdbeben.

All das konnte nicht schon in den alten geologischen Perioden geschehen; erst in den jüngsten war die terripetale Entwicklung so weit vorangeschritten, dass sie climatische Wirkungen hervorrief und die climatischen Zustände riefen von sich aus wieder geographische Gestaltungen ins Dasein. Ursachen und Wirkungen greifen in verschlungenen Wechselbeziehungen in einander ein.

Da die entscheidenden Ursachen zu diesen Vorgängen erst in sehr jungen geologischen Zeiten eingetreten sind, so sind die geographischen und climatischen Folgen derselben noch ganz deutlich wahrzunehmen; sie werden auch nicht leicht verwischt werden können, weil kein weiterer physicalischer Vorgang sich denken lässt, der mit so gewaltiger Kraft in die diesbezüglichen bestehenden Verhältnisse eingreifen könnte, als durch das Gefrieren des Wassers zu Eis geschehen ist.

Insbesondere war auch die Quartärzeit trotz ihrer climatischen Ausschreitungen doch nicht dazu geeignet, die Spuren der in der Tertiärzeit in das Dasein getretenen vollendeten Thatsachen zu verwischen. Die quartäre Zeit zeichnet sich bekanntlich durch das über-

¹⁾ Das gilt von dem aus süssem Wasser gebildeten Eis. Das Meerwasser gefriert erst bei c. 3° unter dem Nullpunkt; seine Ansprüche beim Aufthauen werden deshalb noch gesteigert; man kann jedoch davon absehen.

raschend weite Vordringen der Gletscher aus. Aber das Eis selbst trat ohne Zweifel nicht erst in der quartären Zeit auf, sondern schon gegen den Schluss der tertiären, deren Clima schliesslich dem heutigen gleich oder ganz ähnlich wurde. Ein principieller Gegensatz besteht daher wohl zwischen dem Ende der Tertiärzeit und der früheren geologischen Periode, aber nicht zwischen dem Schluss der Tertiärzeit und der Quartärzeit. Die gewaltigen Wirkungen, die das Eis hervorbrachte, fallen ebendeshalb schon in die zu Ende gehende Tertiärperiode. In der That lassen die geognostischen Untersuchungen nicht daran zweifeln, dass die Quartärzeit sowohl die Continente, als die hohen Gebirge als Erbschaft aus der vorhergehenden Tertiärperiode herüber empfangen hat. Die Zeit der Senkungen auf den Meeresgrund lässt sich zwar selbstverständlich aus directen Beobachtungen nicht erkennen; wenn aber zur Tertiärzeit schon ein eisigkalter Strom auf dem Grund des Meeres sich auszubreiten anfang, so mussten nothwendig auch die Volumverminderung und Senkung desselben damals sich vollziehen. Durch Senkungen und Hebungen accommodirte sich dazumal schon die Erdrinde an die neue Ordnung der Dinge; es wurde ein Zustand der Anpassung hergestellt, der zur Quartärzeit nicht mehr verändert wurde. Man kann auch nicht behaupten, dass durch die vergrösserte Masse von Eis, die zur Quartärzeit vorhanden war und auch sicher ins Meer sich ergoss, die Zustände seit der Tertiärperiode eine wesentliche Abänderung erlitten hätten. Den Ausschlag bei den Senkungen gibt die Temperatur der untersten, den Meeresboden direct berührenden und von ihm Wärme abfordernden Schicht kalten Wassers. Da die grösste Dichtigkeit und Schwere des Meerwassers bei $+ 0,45^{\circ}$ vorhanden ist, so wird diese Temperatur die mittlere Durchschnittstemperatur des Wassers unmittelbar am Boden der tiefsten Meere sein, sowohl für die gegenwärtige Periode, wie für das Ende der Tertiärzeit und kann auch für die Quartärzeit nicht wesentlich höher oder niedriger gewesen sein. Seit der bewegungsvollen Ausgleichung am Ende der Tertiärzeit trat dann die Erdoberfläche wieder in das Stadium der ruhigen säcularen Hebungen und Senkungen zurück, die durch die vulcanischen Erscheinungen nicht beträchtlich beeinflusst werden.

Die Adhémar'sche Theorie darf, wo es sich um Zeitbestimmungen in geologischen Dingen handelt, nicht unberücksichtigt bleiben. Darin liegt ja gerade der bestrickende Reiz, den diese Theorie ausübt, dass dieselbe eine weite Perspective eröffnet, um nicht blos in den etwas verwickelten Reigen der geologischen Formationen eine chronologische Ordnung hineinzubringen, sondern sogar die Hoffnung erweckt, positive Ziffern zu liefern, durch welche die Dauer und das Alter derselben schliesslich festgestellt werden könnten. Sie ist in der That die einzige Auffassung, die, auf astronomischer Grundlage ruhend, solche erfreuliche Aussichten eröffnen kann.

Um dieses in Aussicht stehenden Vortheils willen ist es nicht bloß begreiflich, sondern aller Anerkennung werth, dass dieser Standpunkt erfasst und nach Kräften festgehalten wurde. Allein die Frage besteht vor wie nach, ob dieser Standpunkt in seinem Princip endgültig behauptet werden könne? Nach Allem, was wir zuvor schon gesagt haben, ist diese Frage nicht zu bejahen. Insbesondere, wenn es sich herausstellen sollte, dass die Alternation der warmen und kalten Halbperioden der Hemisphären preisgegeben werden müsste, so verlöre diese Theorie auch noch ihren eigenthümlichen Reiz; denn ebendamt würde auch die Möglichkeit, absolute Ziffern für die geologischen Perioden zu liefern, hinwegfallen. In die bisherige leidliche Ordnung der geologischen Formationen aber würde durch die Annahme der modificirten Adhémar'schen Theorie keineswegs eine grössere Ordnung gebracht, sondern eine nicht geringe Verwirrung hereinzubrechen drohen. Paläontologen und Geologen würden sich darauf hingewiesen sehen, ganze Reihen von kalten und warmen Halbperioden auf jeder Erdhälfte auszuscheiden, die aber unter sich wieder nicht gleiche climatische Verhältnisse darbieten würden, sondern wegen der schwankenden Grösse der Excentricität in allen Abstufungen variiren und vielfach ihren Charakter gänzlich einbüßen würden. Ueber die Frage, ob eine Fauna und Flora einer bestimmten kälteren oder wärmeren Halbperiode angehöre, oder in wie viele solche Zeitabschnitte eine grosse geologische Periode zerfalle, welche Schichtencomplexe der einen oder der anderen zuzuschreiben seien etc. würde man sich schwer vereinigen können. Noch weniger aber möchte es gelingen, die paläontologischen Forschungsergebnisse nun auch noch mit den ganz selbstständigen astronomischen Berechnungen über die Excentricität nur einigermaßen befriedigend in Zusammenklang zu bringen. Zum Beleg hiefür erinnern wir nur daran, dass man die Quartärperiode in Deutschland schon in drei Eiszeiten aufzulösen anfängt und in England und Schottland sich kaum mehr mit sechs Eiszeiten begnügen will, die sämtlich nach der pliocänen Periode erst existirt haben sollen und in einem Schichtencomplex von nur 86 Fuss Gesamtmächtigkeit sich zu erkennen geben sollen (cf. Schmick: Sonne und Mond als Bildner der Erdschale S. 91).

Nachträglicher Zusatz: Eine ganz übereinstimmende Auffassung wird von Prof. E. d. Süss in Wien in seinem neuesten Werk: Das Antlitz der Erde (I. Band S. 5) ausgesprochen, der sich über das Alter der Continente äussert, wie folgt: »die hohen Sockel, auf denen unsere Continente liegen, mögen also sehr alt sein, sie mögen zum grossen Theil weit in die mesozoische Zeit zurückreichen; aber für die paläozoische Periode könnte man der Voraussetzung allgemein persistender Festländer nicht zustimmen.«

R ü c k b l i c k.

In den vorstehenden Capiteln wurden für eine Reihe von climatischen, geographischen und geologischen Gegenständen die bestehenden, thatsächlichen Beobachtungsergebnisse vorgeführt und besprochen und das Ineinandergreifen derselben darzustellen gesucht, um eine empirische Grundlage für die principielle Deutung derselben zu gewinnen. Zum Schlusse mag es auch gestattet sein, den umgekehrten Weg zu versuchen, d. h. die leitenden principiellen Grundsätze aufzustellen und durch Entwicklung derselben zu den der Beobachtung entsprechenden thatsächlichen Zuständen überzuleiten. Als das oberste Princip der climatischen, geographischen und geologischen Entwicklung ist die Abkühlung und zwar die ungleiche Abkühlung der Erdoberfläche aufzufassen.

Zu jeder Zeit kühlte sich die Oberfläche der Erde an den Polen mehr ab, als unter den Tropen; mag auch eine constante Wolkenhülle die Abkühlung des allumfassenden Oceans verlangsamt und bis auf einen gewissen Grad ausgeglichen haben, ganz und gar konnten die Unterschiede der Abkühlung nie verwischt werden.

Nun sinken aber die relativ mehr abgekühlten Wasser wegen ihres grösseren specifischen Gewichtes auf den Grund des Meeres und an ihre Stelle treten wärmere Wasser, deren Heimath die mittleren Breiten und die Tropen sind. Die mittleren und niederen Breiten aber erhalten wieder Ersatz dadurch, dass die untergesunkenen, relativ am meisten abgekühlten Wasser auf dem Grunde des Meeres denselben und dem Aequator zuströmen. So entsteht eine geschlossene Strömung des Meerwassers zur Ausgleichung des gestörten Gleichgewichts. Aber eine Ungleichheit der Temperatur bleibt vorhanden, wenn dieselbe auch auf der Oberfläche des Wassers theilweise ausgeglichen wird, so besteht ungeschmälert der Unterschied zwischen der Temperatur der Oberfläche und der Unterfläche des Oceans fort.

Die feste Erdrinde, der Grund des Meeres, ist aber gegen die Vorgänge innerhalb der sie unmittelbar berührenden Wasserhülle nicht unempfindlich. Da, wo die lebhaftesten Strömungen der am meisten abgekühlten Wasser sich auf dem Grunde des Meeres hinziehen, wird auch die Temperatur der Erdrinde selbst am meisten in Mitleidenschaft gezogen, sie

wird selbst abgekühlt. Hierdurch wird eine Verminderung ihres Volumens und Erniedrigung des Niveaus derselben hervorgebracht; aber nicht überall gleichmässig, sondern da am meisten, wo die lebhaftesten Strömungen abgekühlten Wassers sich hinbewegen. Das Meer wird hier tiefer, der Druck durch das addirte Gewicht der festen Rinde und des überlagernden tieferen Meeres vermehrt und durch diese Senkungen der Erdrinde in der einen Gegend werden Hebungen in einer anderen hervorgerufen, wo die Strömungen des kälteren Wassers nicht oder weniger sich bewegen. Das allmähliche Auftauchen von Inseln und Archipelen über den Meeresspiegel ist das Resultat und zugleich das äusserlich wahrnehmbare Zeugnis einer schon seit langer Zeit stattgehabten ungleichen Abkühlung in der Tiefe des Meeresgrundes.

Zunächst ist nun der climatische Einfluss wie der Umfang der einzelnen Inseln und Archipele gegenüber dem immer noch übermässig stark dominirenden Ocean verschwindend oder sehr unbedeutend, um so mehr, wenn eine der oceanischen Beschaffenheit entsprechende constante Dunsthülle, zumal in mittleren und hohen Breiten einen starken Schutz gegen Abkühlung der Gewässer gewährte. Die natürliche Warmwasserheizung besteht noch in fast ungeminderter Kraft und bewirkt auf der Oberfläche ein sehr gleichförmiges und zugleich warmes Klima.

Aber es ist doch ein neuer Factor (Land) eingetreten, der geeignet ist, im Laufe seiner weiteren allmählichen Ausbildung die Ungleichheit der Abkühlung noch mehr zu fördern; denn Wasser und Land halten bei der Abkühlung nicht gleichen Schritt und gehen verschiedene Wege; Unterschiede, welche hauptsächlich für die Organismen, die auf der Oberfläche des Landes leben, von grosser Bedeutung werden. In der Tertiärzeit fangen in der That die Landmassen an, selbst dem Ocean gegenüber ihre specifischen climatischen Eigenthümlichkeiten geltend zu machen.

Die nivellirende Kraft der Gewässer des Oceans und zugleich der Dunsthülle wurde durch die Wirkung des Landes geschwächt und in hohen Breiten geben sich die anfangenden Spuren von Temperaturschwankungen und Temperaturabnahmen zu erkennen; die climatischen Zonen scheiden sich langsam aus und die Wirkungen einer niedrigen Temperatur in hohen Breiten, des Frostes, während eines Theils des Jahres werden sichtbar in dem abfallenden Laub der Bäume und in dem Haarkleid der Säugethiere. Freilich bewegt sich die Schwankung der Temperatur noch in sehr mässigen Schranken und berührt mehr nur die Oberfläche des Landes, als dass sie in die Tiefe eindringt.

Nur in einem Falle vorzüglich ist auf diesem Wege der ungleichen Abkühlung eine tiefere und raschere Einwirkung zu erwarten, wenn nämlich der Frost, der vom Lande aus-

geht, sich von seinen Ufern aus auch auf das benachbarte Meer hinauserstrecken konnte. Wenn die Buchten eines Meeres vom Land aus in grösserer Erstreckung auf längere Zeit und somit auch in grösserer Mächtigkeit sich mit Eis bedeckten, so wirkte die Kälte mittelbar auf das Meer ein, weniger durch das Zufrieren, als durch die Aufthauung des Eises. Das Eis bewegte sich hinaus in das offene Meer, schmolz dort ab und sandte beträchtliche Massen kalten Wassers auf den Grund des Meeres hinab.

Auf der Erde befindet sich nur ein Punkt, eine Gegend, welche einen entschiedenen Vorsprung vor anderen voraus hatte, um solche Wirkungen in die Wirklichkeit treten zu lassen. Das ist jener Archipel, der sich in der sehr wichtigen Lage central um den Südpol herum aufgebaut hatte und selbst vor dem im Nordpolarkreis befindlichen Land hauptsächlich die centrale Lage voraus hat. Hier, in den antaretischen Gegenden, wird deshalb auch die Ursache und der Schlüssel zum Verständniss einer Reihe von wichtigen Erscheinungen liegen. Der Wirkungskreis der Südhalbkugel wird dadurch nach verschiedenen Seiten hin der umfassendere.

Als die erste und zugleich unmittelbarste Wirkung, die von dem antaretischen Archipel ausgeht, ist das auffallende Clima der Südhalbkugel zu verzeichnen. Aeltere und neue Temperaturbeobachtungen lassen gar keinen Zweifel darüber, dass die Ursache der niedrigen Temperatur derselben nicht etwa in einem Mindermass der empfangenen Wärme durch die Sonne bestehe, sondern in greifbarer Weise innerhalb des Polarkreises der Südhemisphäre selbst liegen müsse. Es ist der antaretische Archipel, der mit Hülfe der Eisverbindung sich zu einem Continente gestaltet hat und durch seine gewaltigen Kälteproducte die Temperatur der gesammten Halbkugel zu beeinflussen vermag.

Dieser Einfluss äussert sich aber seit der Tertiärzeit vorzüglich, nicht blos in der Temperatur, sondern die eisigen Kaltwasserströme riefen auf dem Meeresgrunde entsprechende stärkere Senkungen hervor, so dass die südliche Halbkugel in grösserem Umfang und im Durchschnitt auch in bedeutenderer Tiefe vom Meere bedeckt wurde, als die nördliche. Andererseits stellen sich jetzt als Correlat der Senkungen correspondirende Hebungen ein, nämlich umfangreichere Archipele, die sich dann mehr und mehr zu Continenten zusammenschliessen, deren Ränder zugleich durch eine dem Meere zugewandte Zone von Hochgebirgen markirt werden, während weiter einwärts, gegen das meerische Gebiet, noch eine zweite Zone von Vulcanen sich vorlegt als mittlere Zone zwischen den Gebieten der Senkung und Hebung. Es ist ein überraschendes Ergebniss, dass das Gewicht der Massen des Meeres und der Erdfesten (im erweiterten Sinne Krümmels) sich nahezu das Gleichgewicht hält. Auch die Form der

grossen Landmassen, die gegen Süd schmal, gegen Nord breit auslaufen, ist bedeutungsvoll und lässt sich unter den gleichen Gesichtspunkt unterbringen.

Weil nämlich, um der stärkeren Senkung des Meeresgrundes der südlichen Hemisphäre willen, hier die grössere Meerestiefe sich vorfindet, so verlieren hier die Landmassen an Ausbreitung in gleicher Masse, als das Meer sich ausdehnt. Auf der nördlichen Halbkugel aber sind die Gewässer seichter, wodurch der Ausbreitung der Landmassen daselbst Vorschub geleistet wird. Wo das Meer sich breit macht, muss das Land schmal werden und umgekehrt.

Nachdem nun die Vertheilung von Land und Meer und Gebirgen in ihren grossen Zügen am Ende der Tertiärzeit festgestellt war, fiel den letzteren, jenen Gebirgen, welche die Schneelinie ihrer geographischen Breite erreichten und überragten, eine eigenthümliche und wichtige Rolle zu.

Dass die Gebirge nicht in jenem stark zerstückelten Zustande, den sie jetzt allorts mehr oder weniger zeigen, entstanden sind, dass insbesondere die Querthäler erst nachträglich erodirt wurden und Zeiträume erforderlich waren, um dieselben vom Fusse des Gebirges soweit nach innen und nach oben zu verlängern, dass dieselben die Centralketten erreichten, ist kaum mehr anfechtbar. Indessen, bevor die Querthäler fertig waren, mussten die Schneemassen, die alljährlich über der Schneelinie niederfielen, sich auf den Höhen der Gebirge ansammeln und die Ausdehnung des ewigen Schnees gewann dadurch weiteren Raum nach unten und nach oben. Das ist der Beginn der Eiszeit. Nachdem dann durch Erosion die äusseren niedrigen Ketten durchbrochen waren, die Wege gegen die Centralkette geöffnet waren, setzten sich die Schneemassen auf diesen Wegen in Bewegung nach der Niederung zu, wodurch letztere mit Gletschermaterial überschüttet wurde. Man könnte dies den Höhepunkt der Eiszeit nennen. Aber schliesslich überwältigte die Wärme der Niederung die ihr aufgeladenen Eismassen; die Gletscher schmelzen zurück und lassen nur die Gesteine der Moränen in der Niederung liegen, als unverkennbare Zeichen ihrer ehemaligen Anwesenheit. An die Stelle der Eiszeit tritt nun ein gemässigttes Klima, das von der geographischen Breite und von der Meereshöhe bedingt wird, aber auch noch anderen Einflüssen unterliegt, besonders den Wirkungen einer mehr continentalen oder mehr maritimen Lage.

Inhaltsverzeichnis.

I. Abtheilung.

Climatische Zustände der geologischen Formationen.		Seite
Einleitung: Ueber den Stand der Frage		281
1. Capitel:		
Clima der alten geologischen Formationen.		
Artikel 1. Bedeutung des reinen Seeclimas		288
Artikel 2. Von den Bewölkungsverhältnissen		293
Artikel 3. Art der Ausgleichung der Temperatur		297
Artikel 4. Betrag der Ausgleichung und Erwärmung der Temperatur		301
Artikel 5. Möglichkeit einer weiteren Steigerung der Wärme		310
Artikel 6. Rückblick		314
2. Capitel:		
Clima der jüngeren geologischen Formationen.		
Artikel 1. Verhältniss des Tertiärelimas zu dem der vorangegangenen Formationen		318
Artikel 2. Climatische Zustände gegen Ende der Pliocänzeit		322
3. Capitel:		
Erklärung der climatischen Zustände der Quartärzeit		325
4. Capitel:		
Erklärung der climatischen Zustände der Gegenwart		333

II. Abtheilung.

Modificationen und Wechselbeziehungen der climatischen Entwicklung.		
1. Capitel:		
Clima der südlichen Hemisphäre.		
Artikel 1. Untersuchungen von Sartorius und Hann		345
Artikel 2. Der Adhémar'sche Standpunkt		352
2. Capitel:		
Die südliche Hemisphäre als Gebiet vorherrschender Senkungen		365
3. Capitel:		
Hebungen als Correlat der Senkungen		372
4. Capitel:		
Ueber die Zeit der Hebung der Continente und Hochgebirge		382
Rückblick		396