

Die
klimatischen Verhältnisse
der
V o r z e i t .

Von
M. Neumayr.

Vortrag, gehalten den 2. Jänner 1889.

Wir begegnen bisweilen in der Geschichte der Wissenschaft der Erscheinung, dass einige wenige auffallende Thatsachen zur Aufstellung einer weittragenden Theorie führen, die vorläufig befriedigt, und mit welcher man nun ohne allzuviel Kritik alle neuen Erfahrungen auf demselben Gebiete in Einklang zu bringen strebt; aber allmählich stellen sich Widersprüche und Schwierigkeiten ein, dieselben häufen sich immer mehr, bis man sich endlich überzeugt, dass man auf falscher Grundlage aufgebaut hat, und dass das Gebäude, welches auf derselben errichtet worden ist, vollständig eingerissen werden muss. Es folgt dann eine Zeit der Kritik und der Sammlung von Thatsachen, in welcher es noch nicht gelingt, eine neue und richtigere Erklärung an Stelle der alten zu setzen, bis durch emsige Arbeit eine breitere und sicherere Basis geschaffen ist.

In einem solchen Zwischenstadium, in welchem der alte Boden verloren, ein neuer noch nicht gewonnen ist, befindet sich heute unser Wissen von den klimatischen Verhältnissen der Vorzeit. Man hatte im hohen Norden eine reiche Menge von versteinerten Pflanzen und Kohlenflötze in der Steinkohlenformation gefunden, Riffkorallen, welche heute nur in den heißen

Tropenmeeren vorkommen, traten bis zum 80. Grad nördlicher Breite in den Ablagerungen des Kohlenkalkes und des Silur auf; man sah ferner, dass manche Arten ohne wesentlich abweichende Gestalt in arktischen wie in gemäßigten, ja in vereinzelt Fällen auch in äquatorialen Gegenden vorkommen. Aus einer geringen Anzahl derartiger Daten folgerte man rasch, dass unter dem Einflusse der inneren Erdwärme allgemein, von den Polen bis zum Äquator, heißes gleichmäßiges Klima geherrscht habe, während durch eine an Wasserdämpfen und Kohlensäure überreiche, schwülfeuchte Nebelatmosphäre die Sonnenstrahlen gehindert waren, die Erdoberfläche zu erreichen, oder an derselben eine irgendwie namhafte Wirkung zu erzielen. Infolge dessen wurde für damals die Existenz von klimatischen Zonen oder einer Gliederung der Faunen- und Florengebiete nach solchen gelehrt; erst mit Beginn der Tertiärzeit sollte eine Abkühlung an den Polen begonnen haben, die dann im Verlaufe dieser geologischen Formation weiter fortschritt, bis die jetzigen Verhältnisse der Wärmevertheilung als endliches Ergebnis dieses lange dauernden Vorganges eintraten.

Die Unrichtigkeit dieser Annahmen wird nun ziemlich allgemein anerkannt, und die Zahl ihrer Anhänger nimmt von Tag zu Tag ab; es würde uns wohl zu weit führen, wenn wir diese Hypothesen bis in alle Einzelheiten ihrer oft recht phantastischen Irrwege verfolgen und die einzelnen Fehler nachweisen wollten; nutzbringender wird es sein, wenn wir zunächst die

Methoden prüfen, nach welchen man Schlüsse auf die Temperatur während der Vorzeit abzuleiten pflegt, um dann einige der wichtigsten thatsächlichen Verhältnisse und der besser begründeten Versuche zu deren Erklärung kennen zu lernen.

In erster Linie wird bei der Beurtheilung der vorzeitlichen Klimate auf die Beschaffenheit der Pflanzen- und Thierwelt der einzelnen Abschnitte Wert gelegt, indem man annimmt, dass die verschiedenen organischen Formen unter annähernd denselben Wärmeverhältnissen gelebt haben, unter welchen heute ihre nächsten Verwandten existieren. Von dieser Art der Schlussfolgerung ist in der ausgedehntesten Weise Gebrauch gemacht worden, und innerhalb gewisser Grenzen kann derselben die Berechtigung nicht abgesprochen werden; wenn wir z. B. bei uns in einer verhältnismäßig jungen, der Diluvialformation angehörigen Ablagerung in Mitteleuropa Reste der Polarweide, der Zwergbirke, der Silberwurz (*Dryas octopetala*), ferner an Säugethieren den hochnordischen Halsbandlemming, den Moschusochsen, den Vielfraß, den Polarfuchs und endlich etwa noch einige Landschnecken finden, wie sie heute in Lappland oder in den Hochregionen der Alpen leben, so werden wir daraus wohl mit Sicherheit auf ein rauhes Klima schließen dürfen. Ein entgegengesetztes Beispiel bieten uns jungtertiäre Schichten, welche zwar einer erheblich früheren, aber doch verhältnismäßig von der Jetztzeit nicht weit entfernten Periode angehören; hier treffen wir in unseren Gegenden eine Flora von Ge-

wachsen mit immergrünen lederartigen Blättern, wie sie jetzt in den wärmeren Mittelmeerländern auftreten, und hier ist die Folgerung, dass höhere Temperatur vorhanden war, gewiss berechtigt. Aber wenn auch in manchen Fällen die Richtigkeit solcher Schlüsse unbedingt zugegeben werden kann, so führt doch eine kühne Verallgemeinerung in dieser Beziehung zu falschen Ergebnissen, und die ganze Methode darf nur mit der größten Vorsicht angewandt werden.

Ist erster Linie müssen wir uns daran erinnern, dass selbst heute ganz nahe verwandte Formen unter den allerverschiedensten Verhältnissen leben. So wird man z. B. die Antilopen der Hauptsache nach unbedingt unter den Charakterthieren der heißen Regionen anführen dürfen, und doch lebt eine Antilopenart, die Gemse, in den Hochgebirgen der gemäßigten Zone in sehr rauhem Klima. Der Eisfuchs lebt im hohen Norden jenseits der Polargrenze des Baumwuchses, der Fenek in den glühenden Wüsten Afrikas, und doch sind beide nahe Verwandte. Elephant und Rhinoceros sind heute ausschließlich den heißen Ländern eigen, und doch wissen wir jetzt aus untrüglichen Beweisen, dass Angehörige dieser beiden Gattungen in Europa und Nordasien zur Diluvialzeit einem kalten Klima standgehalten haben. Ähnliche Fälle sehen wir unter den Meeresbewohnern, und es lässt sich eine ganze Reihe von Beispielen anführen, in welchen irgend eine Gruppe von Formen zwar einem Klima vorwiegend eigen ist, aber vereinzelte Vertreter auch unter ganz anderen

Verhältnissen aufzuweisen hat. So gehören z. B. die Schneckengattungen *Voluta* und *Terebra* zu den sehr bezeichnenden Bewohnern der heißen Meere, aber jede dieser beiden Gattungen hat einen Vertreter in den eisigen Gewässern der Magelhaensstraße. Unter den Landpflanzen machen wir namentlich die merkwürdige Beobachtung, dass viele Formen der nördlich gemäßigten Zone, wenn sie nach südlichen, weit wärmeren Gegenden verpflanzt oder verschleppt werden, daselbst ganz außerordentlich um sich greifen, stellenweise in dem Maße, dass sie die einheimische Flora stark beeinträchtigen und zurückdrängen, wie das namentlich bei den verschiedensten von Europa nach fremden Erdtheilen transportierten Unkräutern der Fall ist.

Im allgemeinen ist man zur Annahme geneigt, dass, abgesehen von den Vorkommnissen der Diluvialformation, die Thier- und Pflanzenreste der Vorzeit im ganzen auf ein wärmeres Klima hinweisen als das heute herrschende, und in der That lassen sich dafür einige recht auffallende Erscheinungen anführen; wohl am wichtigsten ist die sehr große Verbreitung der Riffkorallen in den alten Ablagerungen, während deren Vertreter heute auf die heißen Meere beschränkt sind. In derselben Weise lassen sich noch manche andere Thatsachen anführen, während in anderen Fällen offenbar derartige Folgerungen in ziemlich kritikloser Weise auf ungenügendes Material hin abgeleitet worden sind; so hat man aus dem Vorkommen vieler und theilweise großer gekammerter Cephalopodenschalen auf warme

Temperatur schließen wollen, lediglich weil der letzte Vertreter dieser ehemals ungeheuer verbreiteten Formengruppe, der bekannte *Nautilus*, zufällig in warmen Meeren lebt. Dieser Schluss hat nicht die geringste Berechtigung, denn es ist selbstverständlich, dass die nach mehreren Tausenden von Arten zählenden ausgestorbenen Formen unter den allerverschiedensten Bedingungen gelebt haben werden; wenn man vollends aus der bedeutenden Größe mancher dieser Thiere auf ihr Vorkommen in warmen Meeren schließen will, so vergisst man dabei ganz, dass in der Jetztwelt die größten Cephalopoden, Tintenfische von etwa 12 m Länge, am verbreitetsten im nördlichen Theile der gemäßigten Zone vorkommen.

Wenn man aber auch von solchen offenbaren Irrthümern absieht, so ist doch die Zahl der Fälle sehr bedeutend, in welchen die Fossilien in der That den Charakter solcher Typen tragen, welche heute für die heißen Gegenden in hohem Grade charakteristisch sind. Leider vergisst man nur zu oft, dass daneben, allerdings weniger häufig, auch der entgegengesetzte Fall eintritt; so ist in allen älteren Formationen eine Abtheilung der Bryozoen oder Mooskorallen, die Gruppe der Cyclostomen überaus verbreitet, welche jetzt ganz vorwiegend in den polaren Meeren lebt. Die in den mesozoischen Ablagerungen so überaus häufige und verbreitete Muschelgattung *Astarte* ist heute fast ganz auf die kalten Meere beschränkt, und hier findet sich auch der letzte Repräsentant der früher vielfach vertretenen

Gruppe *Cyprina*; die schon in der Silurformation häufige und namentlich in Jura- und Kreideformation in zahlloser Menge auftretende Brachiopodensippe *Rhynchonella* ist jetzt hochnordisch, und die Haifischgattung *Selache*, welche jetzt auf die grönländischen Gewässer beschränkt ist, findet sich in den Kreideablagerungen weit südlicherer Gegenden.

Solche Fälle, die durchaus nicht vereinzelt sind, lehren uns jedenfalls mit untrüglicher Sicherheit, dass die thierischen und pflanzlichen Typen nicht unänderlich auf dieselben äußeren Verhältnisse und namentlich auf bestimmte Wärme angewiesen sind, sondern dass sie sich acclimatisieren. Mögen wir nun annehmen, dass die Riffkorallen ehemals in kühlerem, oder dass die cyclostomen Bryozoen in wärmerem Wasser gelebt haben als heute, oder dass beide ihre Gewohnheiten geändert haben, jedenfalls geht aus einer überaus großen Zahl von Thatsachen mit zwingender Nothwendigkeit die Richtigkeit des Schlusses hervor, dass eine Anpassung der Organismen an Veränderungen der Temperatur vor sich geht, und zwar in weit höherem Grade, als man das in der Regel vorausgesetzt hat.

Wir müssen dabei namentlich einen sehr merkwürdigen Umstand ins Auge fassen, nämlich die große Lebenskraft, Anpassungsfähigkeit und Zähigkeit der Organismen der gemäßigten und namentlich der nördlich gemäßigten Zone bei ihrer Übertragung in fremde Erdstriche. Wie der europäische Mensch mit den Kindern aller anderen Zonen in siegreichen Wettbewerb

tritt, so ist das auch mit vielen Thieren und Pflanzen Europas und namentlich seines mittleren und nördlicheren Theiles der Fall. Wie oben erwähnt, greifen sie, in fremde Regionen verpflanzt, aufs rascheste um sich und verdrängen häufig genug die eingeborenen Thiere und Pflanzen; die englischen Naturforscher, welche am meisten Gelegenheit gehabt haben, in den Colonien ihres Landes diese Verhältnisse kennen zu lernen, sprechen geradezu von der bedeutenden Aggressivkraft der nordeuropäischen Organismen.

In unserer Zeit, in welcher die Verschleppung der verschiedensten Formen durch den weitausgebreiteten menschlichen Verkehr im höchsten Grade gefördert wird, treten solche Verschiebungen in besonders auffallender Weise auf, in langsamerem, jedoch um so größerem Maßstabe aber muss dieser Vorgang sich seit vielen Millionen von Jahren abspielen. In einer Periode erscheint in den gemäßigt kalten Regionen eine Organismengesellschaft, und von ihr gehen Colonisten nach Süden; diese passen sich allmählich den dortigen Verhältnissen an, wandern noch weiter, bis irgend eine natürliche Schranke ihrem weiteren Fortschreiten ein Ende macht. Sie gewöhnen sich an die neuen Verhältnisse und ihre höhere Temperatur, sie verweichlichen; aber in der Zwischenzeit haben sich in der alten Heimat neue Formen entwickelt, welche nachdrängen und dasselbe Schicksal erleiden, und so werden die südlichen Typen immer eine gewisse Verwandtschaft mit den geologisch älteren Formen nördlicherer Gegenden zeigen, ohne

dass daraus eine Änderung der Temperatur gefolgert werden dürfte.

Es geht daraus hervor, mit welcher außerordentlichen Vorsicht man zuwerke gehen muss, wenn man aus der Formenverwandtschaft geologisch alter Arten mit jetzt lebenden auf die Temperatur der Vorzeit schließen will. Die Möglichkeit eines Irrthums liegt hier außerordentlich nahe, und sie wird um so größer und drohender, je älter die Ablagerung ist, auf deren Klima man schließen will, da sich natürlich mit dem zeitlichen Abstände die Wahrscheinlichkeit eines geänderten Wärmebedürfnisses steigert. Wir werden daher mit einiger Wahrscheinlichkeit Schlüsse auf die Verhältnisse der uns noch ziemlich nahe liegenden Diluvial- und Tertiärzeit ableiten können, aber schon bei den mesozoischen Bildungen wird die Sache bedenklich, ganz unsicher aber sind die Folgerungen, wenn man zu den uralten paläozoischen Ablagerungen gelangt. Ja wir müssen gestehen, dass wir gerade jetzt bei schärferer Kritik und bei vermehrter Kenntniss der Thatsachen durch die von Jahr zu Jahr sich häufenden Arbeiten und Forschungen nicht imstande sind, die wichtigste und tiefgreifendste Frage zu beantworten, die Frage, ob seit der Ablagerung der ältesten versteinерungsführenden Formationen bis auf den heutigen Tag eine allgemeine und dauernde Abkühlung des Klimas stattgefunden hat oder nicht.

Mit welchen Schwierigkeiten man in dieser Richtung zu kämpfen hat, mag hier nur an einem sehr

bezeichnenden Beispiele erläutert werden. Wie schon mehrfach erwähnt, kommen heute große Colonien von Korallen, sogenannte Riffkorallen, nur in warmen Meeren vor, in welchen die Temperatur des Wassers an der Oberfläche das ganze Jahr hindurch nicht unter 20° C. herabsinkt. Wenn wir nun die geographische Verbreitung der Riffkorallen in den alten Formationen vergleichen, so finden wir in sehr früher Vorzeit, in Ablagerungen der Silur- und Steinkohlenperiode, Reste derselben jenseits des Polarkreises; in einer weit späteren Zeit sehen wir sie während der Juraformation nur mehr bis nach Norddeutschland und ins südliche England reichen; während der zweiten Hälfte der Kreideformation überschreiten sie den Nordrand der Alpen und die Gebirge des südlichen Frankreich nicht, und annähernd dieselbe Linie bezeichnet auch während der ersten Hälfte der Tertiärzeit die Nordgrenze ihres Vorkommens. Zu Beginn der zweiten Hälfte der Tertiärzeit finden sie sich am Nordrande der Alpen nur mehr in dürftiger Entwicklung und sind erst in Südeuropa reichlich vorhanden, und während des letzten Abschnittes der Tertiärzeit, im Pliocän, sind sie fast ganz aus Europa verschwunden.

Es scheint fast selbstverständlich, daraus zu schließen, dass seit dem Silur eine stetige Abkühlung stattgefunden habe, infolge deren sich die Riffkorallen um etwa fünfzig Breitengrade vom Pole zurückgezogen haben, aber trotzdem zeigt eine genaue Prüfung, dass eine solche Folgerung im hohen Grade übereilt wäre.

Zunächst weichen die paläozoischen Korallen sehr wesentlich von den jetzt lebenden ab, sie können also ganz andere Wärmebedürfnisse gehabt haben als jetzt; wir kennen ferner durchaus nicht aus allen älteren Formationen weit nach Norden gelegene Korallriffe; zwischen Kohlenformation und Jura, die wir eben genannt haben, schieben sich die Permformation und die Trias ein, aus denen wir nichts von so nördlich gelegenen Riffkorallen wissen; die nördlichsten Vertreter dieser Abtheilung aus dem Perm scheinen im nordwestlichen Indien, diejenigen aus der Trias in den Alpen aufzutreten. Wir wissen also auch gar nicht, ob diese Veränderungen in der Verbreitung, wenn sie überhaupt von der Temperatur abhängig sind, nicht großen Schwankungen in der Wärmevertheilung zuzuschreiben sind, ohne dass eine dauernde Abkühlung einträte. Endlich ist durchaus nicht festgestellt, dass die Lage der Erdachse immer dieselbe war, ja es liegen für eine Verschiebung derselben im Laufe der geologischen Perioden ganz bestimmte Anhaltspunkte vor, die wir noch kennen lernen werden; es können also die Punkte, an welchen wir Korallen der Silur- und Kohlenformation nahe dem Pole finden, in jenem früheren Zeitalter der Erde dem Äquator viel näher gelegen haben als heute.

Solche Schwierigkeiten zeigen sich bei jedem Versuche, weittragende Schlüsse auf diesem Wege abzuleiten, und wir lernen daraus, welche Vorsicht dieser Menge von Fehlerquellen gegenüber angewandt werden

muss. Eine andere Methode, durch welche man Anhaltspunkte über die Beschaffenheit der Klimate früherer Zeit zu erhalten sucht, besteht darin, dass man ganz unbekümmert um die Verhältnisse, unter welchen heute verwandte Typen leben, nur die Größe der geographischen Verbreitungsbezirke ausgestorbener Formen zu ergründen und aus der sehr bedeutenden Ausdehnung derselben auf ehemals gleichmäßiges Klima auf sehr weite Strecken, ja über die ganze Erde hin schließt. Auch in dieser Hinsicht liegt die Möglichkeit einer Überschätzung der Thatsachen sehr nahe, und namentlich bei marinen Formen ist dies der Fall; nach dem früheren Stande unserer Kenntnisse konnte man wirklich glauben, dass die geologisch alten Formen größere geographische Verbreitung besitzen als die jetzt lebenden, da man aus den heutigen Meeren fast nur die Seichtwasser- und Küstenbewohner kannte, welche in der That wenigstens theilweise nur enge Wohngebiete haben. In neuerer Zeit aber hat man durch die epochemachenden Tiefsee-Untersuchungen der letzten Decennien auch die Bevölkerung der Abgründe des Meeres kennen gelernt, und sich überzeugt, dass ihr Charakter fast über die ganze Erde derselbe ist, und somit kann man auch in dieser Hinsicht keinen wesentlichen Unterschied zwischen einst und jetzt erkennen. Thatsächlich hat man jetzt für die Mehrzahl der alten Perioden die Existenz verschiedener klimatischer Zonen aus der Vertheilung der Organismen nachweisen können, und in den Fällen, in welchen es noch

nicht möglich war, kann dies sehr einfach dem Umstande zugeschrieben werden, dass man noch nicht in richtiger Weise darnach gesucht hat.

Neben solchen verschiedenartigen Anhaltspunkten, welche die Thier- und Pflanzenwelt liefert, kommt für unseren Gegenstand in gewisser Hinsicht auch der Charakter der alten Ablagerungen in Betracht; wir kennen Gesteine, welche von Vulcanen aus dem Erdinnern befördert und aus glutflüssigem Zustande erstarrt sind, andere sind vom Wasser abgesetzt, bei der Bildung anderer hat Eis eine bedeutende Rolle gespielt, und die Art dieser Entstehung ist in der Regel an bestimmten Merkmalen zu erkennen. Für uns sind nur diejenigen Massen von Bedeutung, welche vom Eise transportiert und an ihre jetzige Stelle gebracht worden sind, denn sie allein geben uns Aufschluss über die Temperaturverhältnisse, sie berichten uns, dass da, wo sie vorkommen, wenigstens zeitenweise genügende Kälte herrschte, um größere Mengen von Wasser gefrieren zu machen.

Die Merkmale der Eiswirkung sind bekannt genug; wo sich das Eis als Gletscher fortbewegt, da poliert und schrammt oder kritzt es seine Unterlage, es führt feinschlammiges Material, Sand, größere und kleinere Steine und selbst gewaltige Felsblöcke mit sich fort und lagert diese Materialien ungeordnet, ohne Sichtung nach der Größe des Kornes, wie sie beim Transport durch Wasser vor sich geht, in den sogenannten Moränen ab. Polierte und ge-

schrammte Felsoberflächen, gekritzte Geschiebe und Lagerung der Massen ohne Schichtung und mit bunter Mischung von Schlamm, Sand, gröberem Steinen und bedeutenden Blöcken, das sind die Kennzeichen der Gletscherablagerungen, bei deren Prüfung allerdings ebenfalls große Vorsicht nothwendig ist. Gelangen Eismassen von einem Gletscher ins Meer oder in einen größeren See, so werden sie unter Umständen auf große Entfernungen verschwemmt und tragen im Eise eingebackene Steine und Blöcke in den Ocean hinaus, die dann oft erst in weiter Entfernung von ihrem Ursprungsorte aus dem Eisberge herausthauen und auf den Boden des Meeres sinken. So haben die Tiefsee-Untersuchungen des englischen Schiffes „Challenger“ ergeben, dass in den höheren südlichen Breiten in sehr tiefem Meere, fern von jeder Küste, mitten in dem feinen Schlamme des Grundes zahlreiche Steine liegen, die nur auf diese Weise an ihren jetzigen Platz gelangt sein könnten. Wohl ist auch dieses Merkmal nicht ganz untrüglich, indem unter Umständen auch zwischen den Wurzeln von Bäumen, die von Flüssen ins Meer hinaus getragen werden, Steine eingeklemmt sein können, aber diese Art der Verschleppung wird nur in sehr beschränktem Maße wirken. Wo wir aber in alten Formationen über weite Strecken ausgebreitet aus dem Wasser abgesetzte Ablagerungen von sehr feinkörnigem thonigen oder sandigen Materiale finden, dem ganz regellos zahlreiche große Steine und Felsblöcke eingeschaltet sind, da werden wir auf Transport

durch schwimmendes Eis schließen dürfen, namentlich wenn die Steine noch überdies geschrammt sind.

Wir haben die wichtigsten Erscheinungen kennen gelernt, aus welchen man auf die klimatischen Verhältnisse der Vorzeit schließen kann, und wir haben zu prüfen gesucht, in welchem Maße und unter welchen Einschränkungen Folgerungen daraus abgeleitet werden können. Unsere nächste Aufgabe wird natürlich sein, die gewonnenen Grundsätze auf die Erscheinungen anzuwenden, welche uns in den verschiedenen Perioden der Vorzeit entgegentreten, und ein Bild von den klimatischen Verhältnissen und den durch sie bedingten Zuständen früherer Epochen zu entwerfen. Es würde uns aber viel zu weit führen, jeden einzelnen Zeitabschnitt ausführlich zu betrachten, und wir müssen uns auf eine flüchtige Skizze einzelner besonders wichtiger und genau erforschter Formationen beschränken.

Wir übergehen die allerältesten Ablagerungen, für deren Beurtheilung uns nur sehr wenig Anhaltspunkte vorliegen, und wenden uns der zweiten Hälfte der Steinkohlenformation, der sogenannten productiven Steinkohlenformation zu. Sie trägt ihren Namen daher, dass sie in vielen Ländern jene gewaltigen Schätze fossilen Brennmaterials enthält, welche zum unentbehrlichen Factor unserer ganzen modernen Industrie geworden sind, und ohne welche die jetzige Gestaltung der socialen und politischen Verhältnisse nicht denkbar wäre. So riesig sind die Massen des hier aufgehäuften Brennstoffes, dass das, was alle anderen

geologischen Formationen zusammen liefern, dagegen weit zurückbleibt. Über die Art und Weise, in welcher die Steinkohlen sich gebildet haben, herrscht noch vielfach Meinungsverschiedenheit; aber trotz aller Abweichungen im einzelnen steht doch so viel fest, dass wir es mit den in Kohle umgewandelten Resten einer alten Festlandsvegetation zu thun haben, welche wenigstens theilweise in sumpfigen Gebieten gedieh. Natürlich besteht nicht die ganze Steinkohlenformation, auch da, wo sie am reichsten mit Kohle ausgestattet ist, ganz oder auch nur zum größeren Theile aus dieser, sondern weitaus die überwiegende Hauptmasse bilden andere Gesteine, namentlich Schieferthone, Sandsteine und Conglomerate, und diesen sind stellenweise Schichten oder Lagen der Kohle, die sogenannten Flötze eingeschaltet, deren Dicke immer nur einen sehr bescheidenen Bruchtheil der Gesamtdicke der ganzen Formation ausmacht. Wir müssen uns die Entstehung dieser Bildungen etwa in der Weise vorstellen, dass eine Ebene, ein Becken, bald von Wasser bedeckt war, bald trocken lag; in den Perioden der Überflutung meist durch süßes, nur vereinzelt durch Meerwasser lagereten sich die Schiefer, Sandsteine u. s. w. ab; während der Trockenlegung dagegen wuchsen Land- oder Sumpfpflanzen, deren Verwesungsproducte das Material zur Kohlenbildung lieferten. Dann drang wieder das Wasser vor, und über dem Flötze lagerten sich wieder mächtige Schiefer, Sandsteine und Conglomerate ab.

Nicht überall finden sich übrigens Flötze, vielfach

finden wir nur die anderen Gesteine, welche aber in der Regel die Abdrücke der charakteristischen Pflanzen der Kohlenformation enthalten. In weiten Districten aber fehlen überhaupt die Schieferthone und Sandsteine, und an ihrer Stelle treten im Meere gebildete Kalke mit zahllosen Resten mariner Thiere, von Weichthieren, Seelilien, Korallen und Foraminiferen auf. So war z. B. während dieser Zeit der größte Theil des europäischen Russland vom Meere bedeckt und liefert die sogenannten jüngeren Kohlenkalke oder Fusulinenkalke, welche zur selben Zeit entstanden, zu welcher in anderen Ländern auf festem Lande die Flötze sich bildeten.

Es ist eine eigenthümliche Vegetation, deren Zersetzungsproducte wir in den Steinkohlen der productiven Steinkohlenformation vor uns haben. Noch existierten keine Laubbäume und keine Blütenpflanzen, eine eintönige Pflanzendecke mit starren Blättern bekleidete damals unsere Continente. Eine sehr große Rolle spielten die Calamiten, mächtige Gewächse, welche aus der jetzigen Schöpfung ganz verschwunden sind, deren nächste Verwandte die Schachtelhalme sind, welche jetzt bei uns an nassen Stellen so häufig vorkommen. Einen zweiten sehr wichtigen Typus stellen die Lepidodendren oder Schuppenbäume dar, große Bäume, deren mehrfach gegabelte Stämme mit großen Blattnarben in geometrisch regelmäßiger Anordnung bedeckt, deren Zweige mit kurzen, straffen, grasartigen Blättern besetzt waren; ferner sind als vielleicht

die wichtigsten unter allen die Sigillarien oder Siegelbäume zu nennen, deren ganz unverzweigte und astlose Stämme Blattnarben in senkrechten Reihen und Blätter ähnlich jenen der Schuppenbäume trugen. Lepidodendren und Sigillarien sind ebenfalls längst ausgestorben, und nur die unscheinbaren, den Farnkräutern verwandten Bärlappgewächse oder Lycopodien erinnern heute noch an die verschiedenen Riesenformen jener weit entlegenen Zeit.

Wir können nicht auf die zahlreichen anderen Pflanzentypen der Kohlenformation eingehen, es mag nur noch das Vorkommen überaus zahlreicher baumförmiger Farnkräuter oder Baumfarne und das Auftreten nicht sehr zahlreicher Nadelhölzer erwähnt werden, welche in der sonst so fremdartigen Flora jener Zeit sich am meisten an unsere heutigen Vegetationstypen anschließen.

Die geographische Verbreitung dieses Typus ist eine außerordentlich große; wir können ihn von den Küsten des atlantischen Oceans durch die ganze Nordhälfte der alten Welt bis nach China verfolgen, und auch in Nordamerika ist er namentlich in der östlichen Hälfte der Vereinigten Staaten ausgezeichnet entwickelt; hier und in China sind die beiden Gebiete, welche die größten Massen von Steinkohlen in ihrem Boden umschließen. Außerdem finden wir entsprechende Ablagerungen mit ungefähr denselben Gewächsen im hohen Norden, im amerikanischen Polararchipel, auf Spitzbergen, Novaja Semlja u. s. w. wieder.

Gerade diese Erscheinungen sind es, welche vor allem die oben erwähnte Ansicht hervorgerufen haben, dass vom Äquator bis zum Pole ein gleichmäßiges heißes feuchtes Klima bei dichter kohlenensäurereicher Atmosphäre herrschte, welche die Sonnenstrahlen nicht hindurchließ. Und doch zeigt schon eine einfache Prüfung der Thatsachen, dass all diese Vermuthungen unbegründet sind. Was zunächst den Charakter der Flora anlangt, so wissen wir natürlich von den Calamiten, Lepidodendren, Sigillarien und anderen ausgestorbenen Typen überhaupt nicht, welcher Temperatur sie zu ihrem Fortkommen bedurften; die Nadelhölzer wachsen jetzt auch in sehr rauhen Gegenden, und es sind nur die Baumfarne, welche allenfalls auf ein warmes Klima verweisen; sie haben jetzt ihre Hauptverbreitung in den Tropengegenden und erfordern zu ihrem Fortkommen zwar kein heißes, aber doch ein frostarmes Klima. Wir wissen aber keineswegs, ob das in jener frühen Zeit ebenso war; in der Steinkohlenzeit existierten die höchststehenden Abtheilungen des Pflanzenreiches, dessen kräftigste aufstrebende Formengruppen, die wir mit einem Worte als die Blütenpflanzen zusammenfassen wollen, entweder noch gar nicht oder nur in den dürftigsten Anfängen, und es liegt die Annahme sehr nahe, dass diese Typen bei ihrer allmählichen Ausbreitung die Baumfarne aus den kälteren Theilen ihres früheren Verbreitungsbezirkes verdrängten, und dass diese, nun auf die wärmeren Gegenden beschränkt, die Fähigkeit, dem Froste zu trotzen, verloren.

Ein anderer Beweis, der angeführt worden ist, um das Herrschen eines heißen Klimas zu erweisen, ist die Mächtigkeit der Kohlenflötze, von welchen man annahm, dass sie nur durch eine üppige, von hoher Temperatur geförderte Vegetation gebildet sein können. Auch das ist falsch; überaus reiche Vegetation findet sich auch in sehr rauhen Ländern, ja wenige Gegenden der Erde dürften in dieser Richtung dem unwirtlichen Feuerlande mit seinen undurchdringlichen Buchenwäldern überlegen sein. Überdies ist gar kein Grund für die Annahme vorhanden, dass zur Bildung bedeutender Massen fossiler Brennstoffe üppiger Pflanzenwuchsnothwendig sei. Wir kennen in der Jetztwelt nur einen einzigen Vorgang, durch welchen pflanzliche Stoffe in größerer Menge zur Ablagerung gelangen und die erste Stufe jenes Processes durchmachen, welche zur Entstehung der Steinkohle führt; es ist das die Bildung des Torfes, welche bekanntlich durch die unscheinbarsten und dürftigsten Pflänzchen, durch einige Moosarten bewirkt wird. Nicht in den heißen Urwäldern Indiens oder Brasiliens oder in den Mangrovesümpfen der tropischen Küsten, sondern nur in den Mooren der kälteren Gegenden wird heute Pflanzenmaterial in einer Form aufgespeichert, dass Kohlenlager sich im Laufe geologischer Perioden aus demselben bilden können.

Wenn wir die Ursache dieser Erscheinung näher untersuchen, so werden wir zu einer für uns sehr wichtigen Thatsache geführt; der Grund, warum größere

Mengen pflanzlicher Stoffe in heißen Gegenden nicht zu Ablagerungen kommen, besteht darin, dass unter dem Einflusse warmer Temperatur die verwesenden Pflanzenreste sich zu rasch zersetzen und vollständig verschwinden; nur in einem kühlen Klima erhalten sie sich, und wir können daher das Auftreten der Steinkohlenflötze geradezu als einen Beweis betrachten, dass keine hohe Temperatur zur Zeit ihrer Ablagerung herrschte.

Wenn wir das zusammenfassen, was sich überhaupt mit einiger Sicherheit aus der Menge unbegründeter Vermuthungen abhebt, so finden wir, dass in 76° nördlicher Breite Reste einer Baumvegetation der Steinkohlenformation auftreten, während heute die Nordgrenze des Baumwuchses nirgends über 72° hinausreicht, und für den Fall, dass keine Veränderungen in der Lage der Erdachse in der Zwischenzeit stattgefunden haben sollte, würde man annehmen dürfen, dass in jenen hohen Breiten die mittlere Jahrestemperatur um einige Grade wärmer war als heute; für die gemäßigte Zone würde man mit verhältnismäßiger Wahrscheinlichkeit ein kühles Klima mit geringer Sommerwärme und Winterkälte, etwa mit wenig Frost annehmen, ein sogenanntes Inselklima, das wir auch nach unserem Wissen von der Vertheilung von Wasser und Land in jener Zeit voraussetzen dürfen.

Wir haben bisher nur die Vorkommnisse in der nördlich gemäßigten und in der polaren Region ins Auge gefasst; schon bei diesen macht sich eine sehr

eigenthümliche Anordnung geltend; die großen Vorkommnisse von Kohlenflötzen sind alle in der gemäßigten Zone, und zwar meist im mittleren und nördlichen Theile derselben concentrirt. Von den großen Kohlenvorkommnissen der productiven Formation sind in Europa die nördlichsten diejenigen in Schottland, die südlichsten diejenigen am Rande des Centralplateaus von Frankreich; was weiter nördlich oder südlich liegt, ist von geringerer Bedeutung. In Nordamerika allerdings dehnen sich die Kohlenfelder erheblich weiter nach Süden, aber dennoch erreicht keines derselben den dreißigsten Breitegrad, während sie sich nach Norden bis in den südlichen Theil von Britisch-Nordamerika erstrecken. In China sind die Steinkohlen namentlich im nördlichen Theile des Reiches, in den Provinzen Schansi, Schensi und Honan entwickelt.

So sehen wir die großen Flötzzüge auf einen Gürtel von wechselnder Breite beschränkt, welcher seine Südgrenze etwa zwischen 30° und 45° , seine Nordgrenze zwischen 50° und 60° nördlicher Breite hat; wohl fehlen Steinkohlen desselben Alters außerhalb dieses Gebietes nicht ganz, sie sind aber spärlich, man findet in der Regel nur die charakteristischen Pflanzen, allein auch diese verlieren sich allmählich, wenn man weiter nach Süden geht; man kann einzelne Vorkommnisse derselben, z. B. noch im nördlichen Afrika und auf der Sinaihalbinsel verfolgen, zwischen den Wendekreisen aber scheint die typische Flora der productiven Steinkohlenformation vollständig zu fehlen, es kann auch

nicht ein Punkt ihres Auftretens angegeben werden, und erst auf der südlichen Hemisphäre scheint sie in der südlich gemäßigten Zone in den Kohlenfeldern des südlichsten Brasilien wieder vorzukommen.

Man war lange Zeit hindurch sehr zweifelhaft, welches die Ursache dieser Erscheinung sei, ob pflanzenführende Ablagerungen dieses Alters in den Tropenregionen überhaupt fehlen, oder ob sie eine so abweichende Entwicklung zeigen, dass es noch nicht gelingen wollte, sie richtig zu deuten, oder welches sonst der Grund sei. Wir können nicht auf die allmähliche Entwicklung unserer Kenntnisse in dieser Richtung eingehen; wir wollen nur das endgiltige Ergebnis ins Auge fassen, wie es sich in den letzten Jahren herausgestellt hat. Es zeigt sich, dass in Südafrika, in Indien und Australien in großer Verbreitung Ablagerungen vom Alter unserer productiven Steinkohlenformation auftreten, mit zahlreichen Pflanzenresten, die jedoch von den gleichaltrigen Gewächsen unserer Regionen sehr bedeutend abweichen. Von den charakteristischsten Formen unserer productiven Kohlenformation findet sich keine Spur, keine Sigillarien, keine Lepidodendren, keine Calamiten u. s. w. sind vorhanden. Weitaus den größten Theil der Flora bilden Farne und echte Schachtelhalme, zu denen sich noch allerdings in bescheidener Zahl Nadelhölzer und Cycadeen gesellen; die häufigste und bezeichnendste Form dieser Flora ist die Farngattung *Glossopteris*, und man hat nach dieser wohl auch die ganze Pflanzengesellschaft als die

Glossopteris-Flora bezeichnet. So fremdartig steht diese unserer europäischen Kohlenflora gegenüber, dass niemand sich entschließen wollte, an Gleichaltrigkeit zu denken, bis die thatsächliche Richtigkeit einer solchen Annahme durch die schwerwiegendsten Beweise erhärtet war, die keinen Zweifel gestatteten.

In erster Linie folgt daraus, dass die Lehre von der Gleichartigkeit der Kohlenflora auf der ganzen Erde durchaus falsch ist; wir sehen im Gegentheile mindestens zwei sehr verschiedene Florengebiete, deren Erzeugnisse stark von einander abweichen. Was aber dieses Verhältnis ganz besonders merkwürdig macht und die richtige Deutung lange Zeit hindurch erschwerte, das ist, dass die in Indien, Australien und Südafrika auftretende *Glossopteris*-Flora nahe Verwandtschaft mit derjenigen zeigt, welche in Europa in einer weit späteren Periode, in der Triasformation auftritt.

Die auffallendste Erscheinung besteht jedoch darin, dass in Verbindung mit dem ersten Auftauchen der *Glossopteris*-Flora in Südafrika, in Indien und in Australien Ablagerungen von meist feinthonig-sandigem Materiale mit zahlreichen regellos eingestreuten fremden Geschieben von kleinen Steinen bis zu mächtigen mehrere Centner wiegenden Blöcken vorkommen; sie gehören größtentheils Gesteinen an, welche anstehend auf weite Strecken nicht vorkommen und demnach aus der Ferne hertransportiert sein müssen, und überdies zeigen sich die einzelnen Geschiebe geschrammt und gekritzelt. Diese Erscheinungen, welche sich in drei so

weit von einander entfernten Gegenden und nach den neuesten Nachrichten auch in den äquatorialen Gegenden Brasiliens zu wiederholen scheinen, weisen in so ausgeprägter Weise auf eine Entstehung der betreffenden Ablagerung unter der Einwirkung von Eis hin, dass ein Zweifel in dieser Hinsicht kaum mehr gestattet erscheint, so sehr es auch befremden mag, während der Kohlenformation große Eismassen und schwimmende Eisberge in sehr weit vom Pole entfernten Gegenden anzunehmen.

Untersuchen wir nun, was sich aus den mitgetheilten Thatsachen über das Klima der productiven Steinkohlenformation folgern lässt, so ergibt sich vor allem, dass geradezu alles gegen die Annahme einer über die ganze Erde, vom Äquator bis zum Pole gleichmäßig heißen Temperatur spricht. Wir haben geographisch scharf gesonderte Floren, und wir haben überaus weit verbreitete Ablagerungen, bei deren Bildung große Eismassen thätig gewesen sein müssen, und damit sind jene älteren Anschauungen vollständig widerlegt. Allein wenn wir weiter gehen und aus den vorliegenden Materialien schließen wollten, wie denn die damaligen Zustände wirklich waren, so überzeugen wir uns rasch, dass unser Wissen noch viel zu gering ist, um eine bestimmte Vorstellung zu gestatten; wir können mit vieler Wahrscheinlichkeit sagen, dass die Abweichungen der Florengebiete auf klimatische Verschiedenheiten zurückgeführt werden müssen, und dass die Temperatur örtlich niedrig genug war, um die

Bildung von Eismassen zu gestatten; was aber darüber hinausgeht, ist durchaus unsicher, und keine der Annahmen, die man zur Erklärung der damaligen Verhältnisse gemacht hat, kann irgend welchen Anspruch auf Berechtigung machen; jene frühen Zeiten zeigen offenbar so ganz Fremdartiges, die Menge des Unbekannten ist gegenüber dem, was wir wissen, so überaus groß, dass wir noch keine Verallgemeinerung unserer Erfahrungen wagen dürfen.

Wir übergehen die zunächst folgenden Formationen des Perm, der Trias, des Jura und der Kreide und wenden uns nach dieser ungeheuren Unterbrechung der Tertiärzeit zu; mit ihr beginnt die moderne Entwicklung, welche zur Jetztzeit hinüberführt, die Haupttypen der Pflanzen- und Thierwelt sind dieselben wie heute, und namentlich treten seit Beginn der Tertiärzeit die Säugethiere als die herrschenden Formen unter den Landbewohnern hervor, während in den vorhergehenden Formationen die Reptilien diese Rolle gespielt hatten.

Europa war damals weit mehr von der See zerrissen als heute, es stellte einen sehr stark gegliederten Complex von Inseln und Halbinseln dar; das Meer an seinen Küsten war während des ersten Abschnittes der Formation, während des Eocän von Thieren bewohnt, welche tropischen Charakter an sich trugen; in den späteren Abschnitten verliert sich dieser Typus mehr und mehr; im zweiten Abschnitte, in der Oligocänzeit, reicht der tropische Charakter der Meeresfauna

nur mehr bis zu einer Linie, welche ungefähr dem Nordrande der Alpen entspricht; in der darauffolgenden Miocänzeit ist auch hier die Fauna höchstens noch subtropisch, und in allmählicher Abstufung ziehen sich die auf wärmere Temperatur hinweisenden Formen mehr und mehr zurück, so dass gegen Ende des letzten Abschnittes, des Pliocän, fast genau dieselben Verhältnisse herrschen wie heute.

Mit diesen Erscheinungen, welche wir an den Bewohnern des Meeres beobachten, stimmt das, was wir an den Landorganismen sehen, wenigstens in den großen Hauptzügen überein, indem wir in Europa zu Beginn des Tertiär ebenfalls vorwiegend subtropische und tropische Typen finden, welche später von den Vertretern der Floren gemäßigter Klimate verdrängt werden. Im einzelnen allerdings kommen manche und nicht unwichtige Abweichungen vor. Dem ältesten Theile des Tertiärs, dem unteren Eocän gehören z. B. die Floren an, deren Reste in den Kalktuffen von Sezanne in der Champagne oder in den Mergeln von Gelinden erhalten sind. Hier sind namentlich Formen vertreten, welche heute dem südlichen Theile der gemäßigten Zone oder dem subtropischen Gebiete eigen sind; zahlreiche immergrüne Eichen, Lorbeer-, Zimmt- und Kampferbäume, verschiedene Myrtaceen, Araliaceen, Feigenbäume, Magnolien u. s. w. treten auf, manche Formen mahnen direct an ein tropisches Klima, aber neben ihnen finden sich Nussbäume, Linden, Erlen, Weiden, Epheu, Weinrebe, welche entgegengesetzten Charakter zeigen. Palmen

und Cycadeen, diese Hauptcharakterformen heißer Gegenden, fehlen oder sind wenigstens nicht gefunden worden. Im allgemeinen sind die Botaniker geneigt, in jener Zeit für Mitteleuropa ein Klima anzunehmen, wie es heute im südlichen Japan etwa unter 33⁰ nördlicher Breite herrscht.

Wirklich tropischen Florencharakter sehen wir erst in etwas jüngeren Schichten, namentlich im mittleren und oberen Eocän hervortreten damals wuchsen mächtige Palmen und eine Menge anderer Gewächse auf den Festländern und Inseln Europas, deren nächste Verwandte heute im tropischen Afrika, in Indien und Australien leben; nach der Landflora zu urtheilen, haben wir um diese Zeit ein Wärmemaximum in unseren Gegenden, von dem aus dann bis zum Ende der Tertiärzeit eine stete Abnahme der Temperatur stattfand. Im Oligocän und unteren Miocän ist der Charakter noch in der Hauptsache derjenige einer tropischen bis subtropischen Gegend, die Zahl der Typen, welche heute in gemäßigten Gegenden leben, hat sich aber sehr erheblich vermehrt; in merkwürdiger Anzahl finden sich solche Formen, welche heute in Australien auftreten. Im oberen Miocän finden wir dann in Mitteleuropa eine Flora, wie sie heute im wärmeren Theile der gemäßigten Region gedeiht, und in welcher Anklänge an die heutige Flora von Nordamerika sich besonders bemerkbar machen. Während des Pliocän, der letzten Abtheilung des Tertiär, schreitet die begonnene Veränderung weiter vor, so dass wir zuende des Tertiär

eine Pflanzengesellschaft in unseren Gegenden sehen, welche der jetzigen sehr nahe steht und nur verhältnismäßig sehr wenige Beimischungen von Gewächsen wärmerer Himmelsstriche zeigt.

Es darf wohl unbedenklich zugegeben werden, dass diese Thatsachen das Vorhandensein wärmerer Temperatur während der Tertiärzeit beweisen, als sie heute in Europa herrscht, wenn auch über den Betrag des Wärmeunterschiedes große Meinungsverschiedenheiten herrschen können. Heer, welchem wir die wichtigsten Untersuchungen über diesen Gegenstand verdanken, hat versucht, aus dem Florencharakter unmittelbar die mittlere Jahrestemperatur gewisser Punkte für bestimmte Abschnitte der Vorzeit zu bestimmen; so fand er, dass am nördlichen Alpenrande in der Schweiz zur Zeit der Ablagerungen des oberen Oligocän (aquitansische Stufe) eine mittlere Jahrestemperatur von $20-22^{\circ}\text{C}$. vorhanden war, wie sie heute etwa in Cairo, Tunis, Canton oder New-Oleans herrscht; zur Zeit des oberen Miocän wird eine Temperatur von $18-19^{\circ}\text{C}$., entsprechend derjenigen von Messina, Malaga, Madeira oder Nagasaki, angenommen, während heute die mittlere Jahrestemperatur von Zürich 8.73° , diejenige von Genf 9.67° beträgt. Während aber heute Genf und Zürich ziemlich hoch über dem Meere liegen, haben wir sichere Anhaltspunkte dafür, dass in der Tertiärzeit der Meeresspiegel in jenen Gegenden weit höher stand als heute, dass also jene Floren in sehr geringer Meereshöhe wuchsen, was auch unter den jetzigen

Verhältnissen eine Steigerung der Temperatur um etwa 3⁰ bedingen würde. Man würde also daraus folgern, dass im Durchschnitte die mittlere Jahrestemperatur zur Zeit des Oberoligocän etwa 9⁰, zur Zeit des oberen Miocän etwa 7⁰ höher war als heute.

Wenn wir diese Zahlen ins Auge fassen, so müssen wir uns vor allem daran erinnern, dass bei deren Berechnung der Acclimatisation von Pflanzenarten und ganzen Pflanzengesellschaften im Laufe langer geologischer Zeiträume keinerlei Rechnung getragen ist, und dass daher die angegebenen Temperaturunterschiede fast sicher als zu hoch betrachtet werden dürfen. Ferner müssen wir berücksichtigen, dass Europa damals noch weit mehr als heute von Binnenmeeren und Meeresstraßen durchfurcht, demnach sein Klima ein mehr insulares, im Durchschnitte etwas milderer gewesen sein muss, mit kühleren Sommern und wärmeren Wintern als heute. Aber so viel Einfluss wir auch solchen Einflüssen zugestehen mögen, jedenfalls reichen dieselben nicht aus, um die Gesammtheit des Unterschiedes zwischen der eocänen und der heutigen Flora zu erklären. Wir müssen unbedingt annehmen, dass noch andere, tiefer liegende Ursachen mitgewirkt haben.

Mit besonderer Bestimmtheit führen uns zu demselben Ergebnisse die Untersuchungen über die tertiären Floren des hohen Nordens; durch verschiedene englische, amerikanische, dänische und ganz besonders erfolgreich durch schwedische Expeditionen sind zahlreiche Fundorte tertiärer Pflanzenreste in den Polar-

regionen ausgebeutet worden, deren Floren namentlich durch Heer bearbeitet worden sind. Aus Gegenden, welche heute zu den kältesten gehören, die wir überhaupt auf der Erde kennen, liegen die Überbleibsel eines reichlichen Waldwuchses vor, ja es treten jenseits des Polarkreises Pflanzen auf, welche heute in unseren Gegenden keine hinreichende Wärme finden.

Der nördlichste Punkt, von dem uns Pflanzenabdrücke vorliegen, ist Grinelland im nordamerikanischen Polararchipel unter $81^{\circ} 45'$ nördlicher Breite; die mittlere Jahrestemperatur beträgt heute etwa -20° . Die Flora besteht vorwiegend aus Nadelhölzern, darunter unsere gemeine Fichte, zwei Arten von Föhren und die amerikanische Sumpfcypresse (*Taxodium distichum*); dazu gesellen sich Ulme, Linde, Birke, Pappel, Haselnuss und einige andere; die damalige Temperatur wird etwa auf 8° veranschlagt.

Sehr viel reicher sind die fossilen Floren auf Spitzbergen zwischen $77\frac{1}{2}^{\circ}$ und $78\frac{2}{3}^{\circ}$ nördlicher Breite; auch hier herrschen Nadelhölzer vor, von Laubbäumen sind zahlreiche Pappeln vorhanden, ferner Weiden, Erlen, Buchen, Birken, großblättrige Eichen, Ulmen, Platanen, Nussbäume, Magnolien, Ahorn und andere; das Klima Spitzbergens zu jener Zeit wird darnach ungefähr mit demjenigen Norddeutschlands in der Jetztzeit verglichen. Auf noch wärmeres Klima zeigt die fossile Flora Grönlands, welche mit der heutigen Flora der Ufer des Genfer Sees in Parallele gestellt wird.

Es sind das durchaus nicht die einzigen Vor-

kommissen solcher Art, sondern analoge Funde sind an den verschiedensten Punkten im hohen Norden gemacht worden; so in Sibirien an der unteren Lena, auf den neusibirischen Inseln, auf Kamtschatka, Alaska, Sitka, Banksland und an einzelnen anderen Punkten.

Welcher Abtheilung des Tertiär diese fossilen Floren des hohen Nordens angehören, ist noch nicht mit voller Sicherheit festgestellt; während sie von den einen als Miocän oder Oberoligocän betrachtet werden, gelten sie den anderen für Eocän, und für jede der beiden Meinungen können wichtige Gründe angeführt werden. Welche von beiden sich endlich als richtig herausstellen wird, ist für uns zunächst nicht von großer Bedeutung; hier ist nur von Wichtigkeit, dass in Polarregionen, deren mittlere Jahrestemperatur heute meist unter dem Eispunkte liegt, und in welchen jetzt nur die dürftigsten Pflänzchen fortkommen, in der Tertiärzeit ein reicher Waldwuchs gedieh. Der Unterschied zwischen einst und jetzt ist namentlich in Grinelland ein so gewaltiger, dass wir den Abstand der Temperatur mit 27° durchaus nicht als überschätzt betrachten können.

Eine solche Erscheinung ist absolut unbegreiflich, wenn wir eine gleichbleibende Lage der betreffenden Orte gegen den Pol annehmen; wir können uns keine Änderung in der Vertheilung von Wasser und Land in den Meeresströmungen oder in irgend einem der anderen hier in Betracht kommenden Factoren vorstellen, welche in einer verhältnismäßig so wenig von der Jetzt-

zeit entfernten Periode das Gedeihen eines üppigen Waldwuchses in Grinelland hätte hervorbringen können. Diese Überzeugung hat sich schon lange geltend gemacht, und von manchen Seiten sind Stimmen laut geworden, welche auf eine Verschiebung der Erdachse als auf die einzig mögliche Erklärungsursache hinweisen. Allein dem wurde entgegnet, dass die Vorkommnisse tertiärer Pflanzenfundorte einen zusammenhängenden Kranz um den Pol bilden, wie ein englischer Geologe sich ausdrückte, eine Kette, aus der der Pol so wenig entkommen könne als eine Ratte aus einer Falle, die rings von Dachshunden umstellt ist.

In der That darf man auch eine so bedeutende Verschiebung der Pole seit Beginn der Tertiärzeit nicht annehmen; es ist jedoch innerhalb des Kranzes tertiärer Pflanzenfundorte im hohen Norden bedeutender Spielraum für eine solche Änderung gegeben, und es sind sogar sehr bestimmte Anhaltspunkte für eine derartige Annahme vorhanden. Es zeigt sich nämlich, dass nirgends die tertiären Pflanzen so weit nach Norden reichen, und trotz dieser Lage verhältnismäßig so entschieden auf wärmeres Klima verweisen als in dem Quadranten, in welchem Grinelland, Grönland und Spitzbergen liegen; gehen wir dagegen in den gegenüberliegenden Quadranten, so finden wir genau den entgegengesetzten Fall, ja die Tertiärpflanzen von Alaska im nordwestlichsten Nordamerika tragen unter 60° nördlicher Breite den Charakter einer südlichen Flora kaum in höherem Grade als diejenigen von Spitzbergen unter 78°.

Durch diese Verhältnisse wird die Annahme nahegelegt, dass in der That zur Zeit des Gedeihens der polaren Tertiärpflanzen der Pol nicht dieselbe Lage hatte wie heute, sondern um $10-20^{\circ}$ in der Richtung gegen das nordöstlichste Asien verschoben war.¹⁾ Damit

1) In erster Linie ist die Frage, ob eine derartige Verschiebung der Pole möglich sei und wirklich stattgefunden habe, eine physikalisch-astronomische, und Vertreter dieser Forschungsrichtung haben sich auch schon vielfach mit diesem Probleme, wenn auch mit sehr verschiedenen Ergebnissen beschäftigt; unsere Kenntniss der thatsächlichen Beschaffenheit unseres Erdkörpers, seine Starrheit oder Plasticität u. s. w. ist noch viel zu gering, als dass die Sache auch nur mit einiger Aussicht auf Erfolg der Rechnung unterzogen werden könnte. Schiaparelli fasst seine Studien über den Gegenstand dahin zusammen, dass die Astronomie kein endgiltiges Urtheil fällen könne, dass sie aber weit davon entfernt sei, ein Veto einzulegen, wenn die Geologie auf ihrem Gebiete dazu gelange, eine Verschiebung der Pole zu folgern. Thatsache ist jedenfalls, dass diejenigen Sternwarten, an welchen die Beobachtungen am längsten fortgesetzt werden, alle im Laufe dieser Zeit eine kleine Veränderung ihrer Polhöhe, und zwar in demselben Sinne zeigen; die Ortsveränderung ist allerdings gering und beträgt nur $30-40 m$ im Jahrhundert, es wären also bei diesem Tempo etwa 300.000 Jahre erforderlich, um eine Verschiebung des Poles um einen Breitengrad hervorzu bringen. — Wenn man die Gesammtheit der Erscheinungen in den älteren Formationen ins Auge fasst, so wird man zwar zu der Ansicht gelangen, dass die Pole nicht fix sind, dass aber Verschiebungen in sehr großem Betrage, also um mehr als $20-30^{\circ}$ seit der Kohlenformation vermuthlich nicht stattgefunden haben.

stimmen auch die Verhältnisse der Tertiärablagerungen in anderen Gegenden und außerhalb des Polargebietes sehr gut überein. In Europa herrscht während der Tertiärzeit, wie wir gesehen haben, allgemein sehr warmes Klima, wenn wir aber andere Länder untersuchen, kommen wir zu anderen Resultaten; die Tertiärablagerungen der Vereinigten Staaten von Nordamerika weisen durch ihre Flora durchaus nicht auf eine wesentlich gesteigerte Temperatur, und die fossilen Pflanzen aus den wahrscheinlich miocänen und pliocänen Ablagerungen Japans weisen nach den schönen Untersuchungen von Nathorst geradezu auf ein kälteres als das heutige Klima. Diese Thatsachen sind offenbar der Annahme einer Verschiebung der Pole außerordentlich günstig; merkwürdiger Weise finden wir auch in den noch so wenig bekannten Tertiärbildungen der südlichen Halbkugel wenigstens eine auffallende Bestätigung, indem die marinen Tertiärconchylien, welche an der chilenischen Küste an mehreren Punkten vorkommen, nicht eine einzige Art enthalten, welche den Schluss auf wärmeres Klima als das heutige gestatten würde.

Durch all diese Thatsachen wird es sehr wahrscheinlich, dass die Lage der Pole in der Tertiärzeit eine andere war als heute, und dass sie erst zuende dieser Formation in ihre heutige Lage rückten; allein durch eine solche Annahme werden nur die schroffsten Gegensätze gemildert, die störendsten Unregelmäßigkeiten abgeschwächt, eine vollständige Erklärung ist

damit nicht gegeben; welche Stellung wir dem Pole auch anweisen mögen, jedenfalls liegen ihm Localitäten, an welchen tertiäre Waldbäume gefunden wurden, weit näher als heute die nördliche Grenze des Baumwuchses, und auch wenn wir die fossilen Floren von Europa und Japan mit einander vergleichen, finden wir, dass die erstere weit mehr nach der Richtung eines wärmeren Klimas von der jetzigen abweicht als die letztere im entgegengesetzten Sinne. So werden wir zu den Ergebnissen geführt, dass das Klima der Tertiärzeit im allgemeinen etwa wärmer war als das jetzige, aber bei weitem nicht in so hohem Maße, als die durch die Verschiebung der Pole besonders begünstigten Länder, Grinelland, Grönland, Spitzbergen und das westliche und mittlere Europa es vermuthen lassen.

Ein ganz anderes Bild erhalten wir, wenn wir vom Tertiär aus einen Schritt weiter in der Zeitfolge thun und uns der Diluvialzeit, der unmittelbaren Vorgängerin der Gegenwart, zuwenden. Die merkwürdigen Erscheinungen dieser Periode sind an dieser Stelle schon von kundiger Seite geschildert worden, und ich brauche daher nur mit wenigen Worten auf diesen Gegenstand zurückzukommen und das hervorzuheben, was für unseren Gegenstand besonders wichtig ist.

Die Diluvialzeit begann mit einer Periode, deren Klima noch etwas wärmer gewesen zu sein scheint als heute, der Feigenbaum, Lorbeer und Weinrebe kamen noch im mittleren Europa wild fort, und auch unter den Thieren finden sich einzelne Süßwassermuscheln

(*Cyrena fluminalis*), welche zu ähnlichen Ergebnissen führen. Dann aber folgte, den größten Theil der Diluvialzeit einnehmend, jene Ausbreitung gewaltiger Eismassen, welche von Skandinavien, Finnland und den baltischen Provinzen Russlands ausgehend, einen großen Theil von Europa bedeckten und bis nach England, nach Holland, an den Fuß der mitteldeutschen Gebirge, der Karpathen und in Russland bis über Kiew, Woronesch und Nischni-Nowgorod vordrangen. England, Schottland und Irland waren fast ganz vergletschert, fast über das ganze Alpengebiet breitete sich die eisige Decke, ein breiter Gürtel von Eis lagerte sich ihrem Nordrande vor, und auch die kleineren Gebirge in Mitteleuropa und einzelne größere in Südeuropa entwickelten selbständige Gletscher. In noch großartigerm Maßstabe treten uns dieselben Erscheinungen in Nordamerika entgegen und auch im nördlichen Asien sind die bedeutenden Gebirge in jener Zeit vergletschert. Auch weit im Süden entwickelten sich im Himalaya und im Karakorum mächtige Eismassen, und selbst ganz in der Nähe des Äquators zeigen sich solche in der Sierra di Santa Martha im nördlichen Südamerika. Auf der südlichen Halbkugel zeigen sich die ausgebreitetsten Gletscherspuren im südlichen Theile von Südamerika, auf Neuseeland, und nach den Angaben mancher Forscher auch im Capland in Südafrika.

Man war lange zweifelhaft, ob die Vereisung der nördlichen und der südlichen Halbkugel gleichzeitig stattfand; doch kann heute kein Zweifel mehr

herrschen, dass dieses thatsächlich der Fall war. Man hat ferner das Auftreten großer Eismassen ohne Temperaturerniedrigung, ja selbst bei wärmerem Klima lediglich durch das Stattfinden stärkerer Niederschläge von Regen und Schnee und durch das Herrschen wärmerer Winter und kühlerer Sommer zu erklären gesucht, allein auch diese Ansichten sind vollständig unhaltbar, da man in ganz übereinstimmender Weise ebenso wie durch die große Ausdehnung der Gletscher, so auch durch die Pflanzen- und Thierwelt des Festlandes und durch die Bevölkerung des Meeres zu dem Schlusse geführt wird, dass eine Temperaturerniedrigung stattgefunden habe. Wenn wir im Mittelmeerbecken zur Diluvialzeit plötzlich Muscheln auftauchen sehen, die jetzt in der Nordsee leben, so ist keine andere Erklärung möglich als die, dass die Temperatur damals eine kalte war.

Allerdings darf man nicht glauben, dass ganz enorme Kältegrade dazu gehörten, um die Erscheinungen der Eiszeit hervorzurufen; man hat namentlich für mehrere Gebirge Europas die Höhe der Schneegrenze für jene Zeit berechnen und daraus ableiten können, dass die Abkühlung auf dem Höhepunkte der Vereisung alleräußersten Falles 6° C., wahrscheinlich aber ganz erheblich weniger betrug.

Über die Ursachen, welche die kalte Temperatur der Eiszeit hervorgebracht haben, ist sehr viel gesprochen und geschrieben worden, man hat die verschiedensten theils sehr geistreichen, theils ziemlich unsinnigen

Hypothesen aufgestellt, welche alle nur eine gemeinsame Eigenschaft an sich tragen, dass sie nämlich mit den thatsächlichen Verhältnissen in einer oder der andern Weise in schroffem Widerspruch stehen und daher keine Berechtigung haben. Eine Erklärung ist auf dem heutigen Standpunkte unseres Wissens durchaus nicht möglich. Wir müssen uns damit begnügen, festzustellen, dass die Temperaturabnahme sich gleichzeitig, und so weit unsere Untersuchungen überhaupt ausgedehnt worden sind, über die ganze Erde erstreckt hat; es ist also in erster Linie unmöglich, eine Verschiebung der Pole als Ursache anzunehmen, da in diesem Falle ein Theil der Erde eine Steigerung der Temperatur erfahren haben müsste, und überdies können wir in der verhältnismäßig so kurzen Zeitspanne, welche uns von der Diluvialzeit trennt, eine irgend namhafte Änderung in der Lage der Pole und der Erdachse überhaupt gar nicht annehmen. Durch die gleichmäßige Verbreitung der Erscheinung sind ferner alle jene Erklärungsversuche von vorneherein ausgeschlossen, welche irgendwelche geologische oder geographische Änderungen an der Erdoberfläche zuhülfe nehmen, eine andere Vertheilung von Wasser und Land, Änderungen der Meeresströmungen u. s. w., und wir werden auf die Wirkung irgend eines außerhalb der Erde gelegenen und daher diese in ihrer Gesammtheit beeinflussenden Factors verwiesen.

Ganz besonders müssen wir noch eine Erscheinung betrachten, welche während der Kälteperiode eintritt.

In sehr vielen Gegenden hat man die Beobachtungen gemacht, dass die glacialen Ablagerungen mit ihren geschrammten Geschieben und der eigenthümlichen Anordnung der Materialien nicht eine zusammenhängende Masse bilden, sondern dass zwischen einer unteren und einer oberen Schichte mit glacialem Charakter eine Zwischenbildung auftritt, welche keine Spur von Eiswirkung zeigt; man hat auch an verschiedenen Punkten Reste von Thieren und Pflanzen in diesen Ablagerungen gefunden, welche auf ein etwas wärmeres Klima hindeuten, wohl nur unbedeutend kühler als das heutige. So hat man z. B. in den Schieferkohlen von Utznach und Dürnten in der Schweiz, welche in diese Abtheilung gehören, ausschließlich Reste von Pflanzen gefunden, welche noch heute in derselben Gegend vorkommen, mit einziger Ausnahme der Legföhre, welche jetzt in dem ebenen Theile der Schweiz nicht mehr vorkommt, sondern sich auf die Höhen der Alpen zurückgezogen hat. Diese sogenannten interglacialen Ablagerungen erreichen stellenweise bedeutende Mächtigkeit, sie zeigen uns, dass während der großen Eiszeit ein starker Rückschlag zur wärmeren Temperatur eintrat,¹⁾ während dessen die Eismassen abschmolzen, und allen Anzeichen nach muss diese Unterbrechung einen nach menschlichem Maßstabe sehr langen Zeitraum von

¹⁾ Auf die, wie mir scheint, noch durchaus offene Frage, ob eine oder zwei Interglacialzeiten zu unterscheiden seien, kann hier nicht eingegangen werden.

tausenden von Jahren umfassen, und dieser Abschnitt der Erdgeschichte ist für uns von um so größerem Interesse, als die ältesten ganz sicheren Spuren der Existenz des Menschen in Europa sich in interglacialen Ablagerungen finden.

Wie in der Schweiz, so lässt sich eine derartige Unterbrechung der Eiszeit durch eine wärmere Periode noch an mehreren anderen Punkten des Alpengebietes nachweisen, und dieselbe Erscheinung zeigt sich in der norddeutschen Ebene, in Skandinavien, England und in verschiedenen Theilen von Nordamerika und wir dürfen daraus schließen, dass dieselbe allgemeine Verbreitung fand, dass mithin jene Temperaturbewegungen, welche die Vereisung großer Landstrecken und später deren Befreiung von der kalten Hülle mit sich brachten, nicht gleichmäßig fortschreitende Bewegungen darstellten, sondern sich in mehrfachen Schwankungen und Oscillationen vollzogen.

* * *

In flüchtigen Umrissen haben wir das kennen gelernt, was wir über die klimatischen Verhältnisse dreier für die Beurtheilung solcher Fragen besonders wichtiger Abschnitte der Erdgeschichte wissen. Der erste derselben, uralter Vorzeit angehörig, war die productive Steinkohlenformation; wir konnten das Vorhandensein verschiedener Vegetationsgebiete wahrnehmen, deren Abweichungen aller Wahrscheinlichkeit nach

auf Differenzen in der Wärmevertheilung beruhte; es konnte ferner in den Ablagerungen sehr weit von einander entfernten Gegenden die Wirkung von Eismassen nachgewiesen werden. In allen übrigen Punkten aber erscheinen uns die Verhältnisse so durchaus fremdartig, dass ein weiterer Schluss schwer möglich ist; höchstens kann man noch aus der Beschränkung der großen Kohlenflötze auf die gemäßigte Zone folgern, dass die Lage der Erdachse und der Pole von der heutigen nicht sehr weit entfernt gewesen sein kann.

Etwas klarer werden die Verhältnisse, wenn wir uns den weit jüngeren Bildungen der Tertiärzeit zuwenden; bei ihnen können wir zunächst Wirkungen von rein localen Factoren, der Vertheilung von Wasser und Land, von Meeresströmungen u. s. w. wahrnehmen, aber uns gleichzeitig auch überzeugen, dass diese nur eine untergeordnete Rolle spielen. Wir haben ferner gesehen, dass in gewissen Strichen der Erde, namentlich in Europa, Grönland, Grinelland u. s. w. ein auffallend warmes Klima herrscht, das wir in Amerika nicht nachweisen können, während in Japan nach dem Pflanzenwuchse die Temperatur im Tertiär etwas kühler gewesen zu sein scheint als heute, und wir haben als die einzig wahrscheinliche Erklärung dafür eine Verlegung der Pole und der Erdachse kennen gelernt.

Für das Tertiär genügt aber dieser Grund nicht zur Erklärung aller Abweichungen, sondern wir müssen noch außerdem für die ganze Erde das Herrschen eines etwas milderen Gesamtklimas in Anspruch nehmen,

eine vermuthlich nur wenige Grade betragende Steigerung der Gesammttemperatur, die sich namentlich in den polaren Regionen in der Vegetation deutlich geltend macht.

In der diluvialen Zeit, welche der unseren verhältnismäßig so nahe liegt, tritt eine Vereinfachung insoferne ein, als der eine der zwei Hauptfactoren, welche die Abweichung des Klimas von dem jetzigen bedingten, nämlich die Verschiedenheit der Stellung der Erdachse wegfiel, oder wenigstens entsprechend der kurzen Zeit, welche seither verflossen ist, so unbedeutend war, dass eine Wirkung desselben nicht bemerkbar ist. Wir haben, abgesehen von rein localen Erscheinungen, nur allgemein, soweit wir beurtheilen können, gleichmäßig über die ganze Erde stattfindende Schwankungen, Abweichungen von derselben Art wie diejenige, welche eine allgemeine Erwärmung des Erdklimas in der Tertiärzeit hervorbrachte.

Verfolgen wir den Gang dieser allgemeinen, offenbar durch kosmische Einflüsse bedingten Temperaturveränderungen, so finden wir mäßig warmes Klima zu Beginn des Tertiär, dann eine Steigerung im Eocän, und dann eine allmähliche, vielleicht durch Schwankungen unterbrochene Abkühlung bis zu einem ungefähr den heutigen Verhältnissen entsprechenden Grade zu Beginn der Diluvialzeit. Dann setzte sich die Abkühlung fort, unter die heutige Temperatur herab und bis zu ihrem Minimum während der stärksten Vereisung der Länder, dann trat eine Erwärmung fast bis

zur heutigen Temperatur ein, während der Interglacialzeit, nach deren Ablauf Kälte und Vergletscherung abermals die Oberhand gewannen, um dann den heutigen Verhältnissen Platz zu machen, die zwischen der größten Wärme während des Tertiärs und der strengsten Kälte während der Eiszeit etwa die Mitte halten mögen.

Vor allem geht also daraus hervor, dass der Gang dieser Erscheinungen sehr unregelmäßig und vielen Schwankungen unterworfen ist, und der Abschnitt, während dessen wir den Gang der Temperatur annähernd verfolgen können, ist viel zu kurz, als dass wir das Gesetz zu erkennen vermöchten, welches denselben regelt. Wir können nicht unterscheiden, ob sich ähnliche Schwankungen wie die der Diluvialzeit wiederholen werden und wir einer neuen, vorübergehenden Eiszeit entgegengehen, oder ob wir die Rückkehr warmer Temperatur zu erwarten haben, wie sie zur Tertiärzeit herrschte, oder endlich ob das Ergebnis all der Verschiebungen eine bleibende Abkühlung des Klimas sein wird.

Ebensowenig können wir heute noch beurtheilen, wodurch all diese Temperaturänderungen hervorgerufen werden; am plausibelsten und einfachsten allerdings wäre die Erklärung, dass die Sonne ein veränderlicher Stern ist, der zu verschiedenen Zeiten verschiedene Mengen von Wärme abgibt; allein ein Beweis liegt weder für diese, noch für eine andere Annahme vor. Auch dieses Räthsel wird sich wie so

viele andere dem forschenden Geiste des Menschen erschließen, aber dieser wie jeder andere Erfolg auf wissenschaftlichem Gebiete kann nur durch die angestrengteste und geduldigste Arbeit errungen werden; vielleicht wird unsere Generation diesen Triumph nicht mehr erleben, was sie aber sicher leisten kann, das ist die Vorbereitung desselben durch genaue und kritische Sammlung von Thatsachen.
