

DIE KLIMATE
DER
GEOLOGISCHEN VERGANGENHEIT
UND
IHRE BEZIEHUNG
ZUR
ENTWICKELUNGSGESCHICHTE DER SONNE
VON
EUG. DUBOIS



NIJMEGEN | LEIPZIG
H. C. A. THIEME | MAX SPOHR
1893

Q. oct.
1494

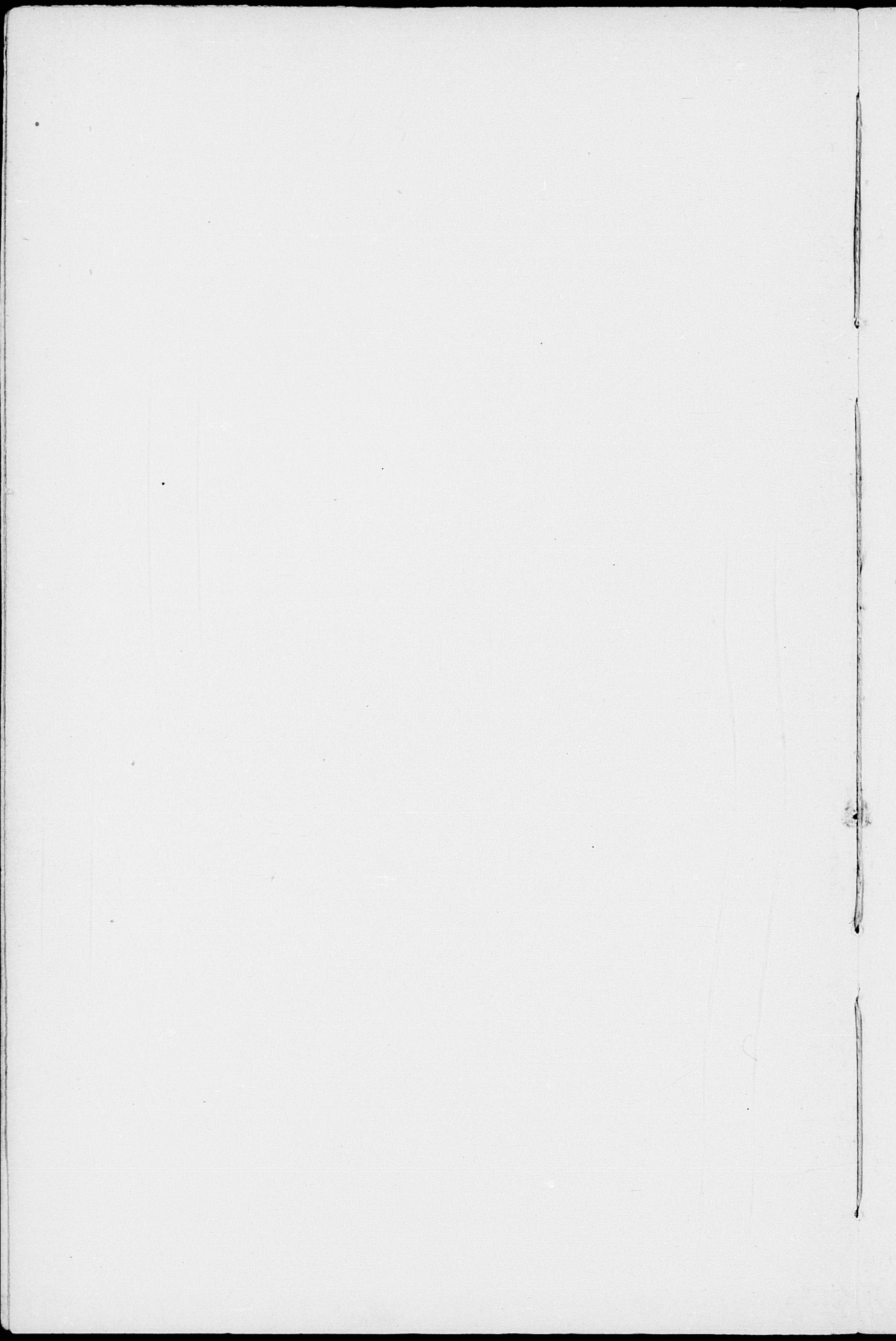
DIE KLIMATE
DER
GEOLOGISCHEN VERGANGENHEIT

Q 201494

DIE KLIMATE
DER
GEOLOGISCHEN VERGANGENHEIT
UND
IHRE BEZIEHUNG
ZUR
ENTWICKELUNGSGESCHICHTE DER SONNE
VON
EUG. DUBOIS



NIJMEGEN | LEIPZIG
H. C. A. THIEME | MAX SPOHR
1893



VORWORT.

Die vorliegende Abhandlung ist ein Versuch, die klimatischen Veränderungen der geologischen Vergangenheit durch Veränderungen der Sonnenwärme zu erklären. Sie ist eine Neubearbeitung in deutscher Sprache einer, anfangs 1891 unter dem Titel: „De klimaten der voorwereld en de geschiedenis der zon“ in: „Natuurkundig Tijdschrift voor Nederlandsch-Indië“ zu Batavia in holländischer Sprache erschienenen Abhandlung.

Die Veranlassung zu dieser Neubearbeitung war der Wunsch des Verfassers, einerseits seine in jenem Aufsätze niedergelegten Ansichten einem grösseren wissenschaftlichen Kreise vorzuführen, andererseits, neue, ihm wichtig vorkommende Belege für deren Berechtigung, sowie Ergänzungen beizubringen.

In der holländischen Abhandlung wurden die, für die relative Verteilung der drei Fixsternklassen benützten Zahlen FAYE'S „*Sur l'origine du monde. 2^e édition. Paris 1885*“ entnommen. An ihrer Stelle werden im Nachfolgenden, bei der Berechnung des Betrages der Veränderungen der Sonnenwärme, die genaueren, dem Verfasser damals noch nicht bekannten Zahlen der Potsdamer spektroskopischen Durchmusterung angewandt, wie sie J. SCHEINER mitteilt.

Auch sei hier erwähnt, dass SCHEINER die ungleiche Verteilung der drei Sternklassen, etwas früher als ich, auf dieselbe Weise erklärt hat (Die Spectralanalyse der Gestirne, p. 325—327), was mir während des Druckes des ursprünglichen Aufsatzes noch nicht bekannt war; in einem Nachtrage, der Mitte 1891 in derselben Bataviaschen Zeitschrift erschien, habe ich dies jedoch angegeben.

Des Weiteren hat schon J. J. MURPHY (Nature, Vol. 42, July

17. 1890, p. 270) die Meinung ausgesprochen, dass die früheren warmen Klimate der Polarregionen — eine Erscheinung der kein wärmeres Klima in der Nähe des Aequators entsprach — durch grössere Sonnenwärme und demzufolge verstärkte atmosphärische und oceanische Circulation zu erklären seien. E. BRÜCKNER (Klimaschwankungen, p. 315) weist (wie mir damals auch noch nicht bekannt war) in Hinsicht auf die diluvialen und auf die von ihm entdeckten 35jährigen Klimaschwankungen auf die Möglichkeit hin, dass eine Abnahme der Sonnenstrahlung die Temperaturdifferenz zwischen dem Aequator und den Polen verringern und dadurch die allgemeine atmosphärische Circulation abschwächen könnte, was sich in einer Schwächung der polwärts gerichteten oberflächlichen Meeresströmungen äussern, und dadurch vom Aequator bis in hohe Breiten hinauf bemerkbar machen müsste.

Auf eine des wichtigen Gegenstandes würdigere, ausführliche Bearbeitung habe ich aus mehreren Gründen, vor Allem wegen Inanspruchnahme durch andere Arbeit, verzichten müssen.

Möge jedoch dieser Versuch zur Erklärung der geologischen Klimaänderungen nicht unbeachtet bleiben, möge er billige und nachsichtige Beurteilung finden und vielleicht auch zu weiteren Arbeiten Anregung geben.

EUG. DUBOIS.

TULUNG-AGUNG (Java),

August 1892.

INHALT.

Vorwort	Seite V.
-------------------	-------------

I. ABSCHNITT.

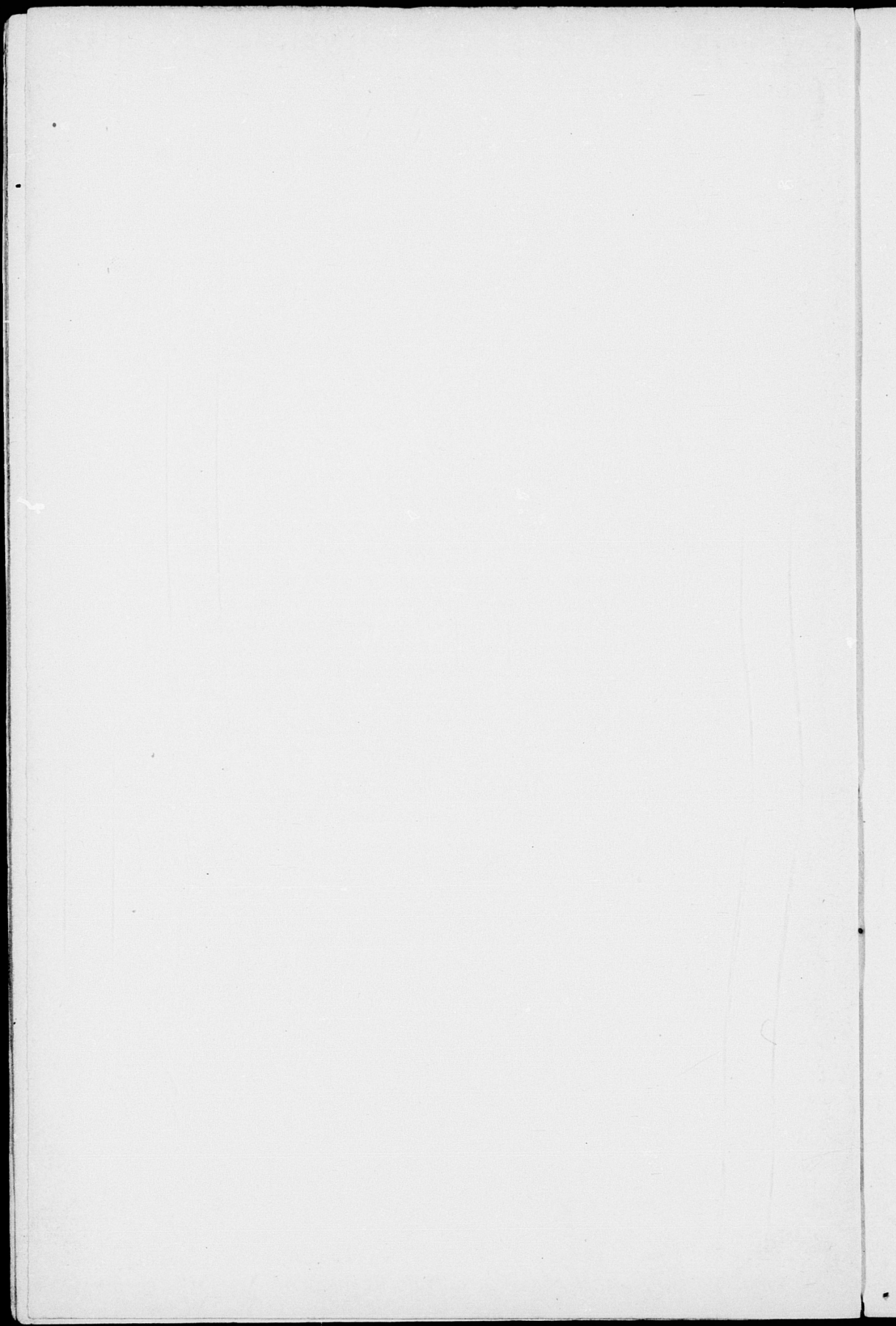
Die Klimate der geologischen Vergangenheit nach palaeontologischen und geologischen Ergebnissen.

Die Organismen der Urwelt als Zeugen von Klimaänderungen. — Die frühere arktische Pflanzenwelt als Beweis wärmerer Klimate. — Klimatische Zonen früherer Perioden. — Oertlich abweichende klimatische Verhältnisse. — Die Hypothese von der tertiären Polverschiebung unnötig und ungenügend zur Erklärung der Vorgänge. — Allmähliche Abkühlung der Klimate und pleistocäne Eiszeiten	I
--	---

2. ABSCHNITT.

Veränderungen der Sonnenwärme als Ursachen der Veränderungen der geologischen Klimate.

Beträchtliche Veränderungen der Sonnenstrahlung als Ursache der geologischen Klimaänderungen. — Die vorausgesetzten Veränderungen der Sonnenstrahlung haben wirklich stattge- funden. — Die Sonnenwärme ist höchst wahrscheinlich nur Verdichtungswärme. Scheinbarer Widerspruch mit geologischen und biologischen Ergebnissen. — Weitere Umstände zu Gun- sten der Ansicht, dass die geologischen Klimaänderungen durch die Entwicklungsgeschichte der Sonne zu erklären sind.	37
---	----



I. Abschnitt.

Die Klimate der geologischen Vergangenheit nach palaeontologischen und geologischen Ergebnissen.

Die Organismen der Urwelt als Zeugen von Klimaänderungen. — Die frühere arktische Pflanzenwelt als Beweis wärmerer Klimate. — Klimatische Zonen früherer Perioden. — Oertlich abweichende klimatische Verhältnisse. — Die Hypothese von der tertiären Polverschiebung unnötig und ungenügend zur Erklärung der Vorgänge. — Allmähliche Abkühlung der Klimate und pleistocäne Eiszeiten.

Die Organismen der Urwelt als Zeugen von Klimaänderungen.

Es ist eine seit langer Zeit erkannte Thatsache, dass die Klimate der Vorzeit andere waren als die heutigen. Von vielen Erdstrichen hat man festgestellt, dass sie ungezählte Millionen von Jahren hindurch ein wärmeres und dann auch ein kühleres Klima besaßen als jetzt; gleichwol ist für einige Perioden eine der jetzigen ähnliche allgemeine Regelmässigkeit in der räumlichen Verteilung der Wärme nicht zu verkennen.

Wir urteilen über die Klimate der Vorzeit hauptsächlich nach dem Charakter ihrer Pflanzen- und Tierwelt. Die Organismen warmer Länder sind in der Regel sehr ver-

schieden von denen der kalten Erdstriche; nicht ganz logisch schliesst man daher umgekehrt, dass das Klima einer früheren Periode warm oder kalt war, je nachdem deren Organismen die nächsten Verwandten von solchen sind, die gegenwärtig in warmen oder in kalten Regionen leben. Dieser Schluss hat wol seine Berechtigung, wenn die Verwandtschaft eine sehr enge ist, und an vielen Pflanzen und Tieren wahrgenommen wird. Auch hat man oft das Recht aus der grösseren oder geringeren Energie, mit der das Leben im Allgemeinen sich äussert, auf wichtige Veränderungen des Klimas und seines Wärmegrades zu schliessen. Nun kennen wir in der That diese allgemein engere Verwandtschaft fossiler Formen mit Organismen, die jetzt in anderen Klimaten leben und wissen, dass manche Periode einen ganz anderen Reichtum an Pflanzen- und Tierleben entwickelte, als die gegenwärtige.

Dennoch giebt es keine feste Beziehung zwischen dem Klima und dem Charakter der Lebewelt. Man findet nahe verwandte Pflanzen und Tiere in sehr verschiedenen Klimaten, und so war es auch früher; Elephanten, Rhinocerosse und Löwen, jetzt echte Tropenbewohner, lebten während der Eiszeit in Europa. Vergleicht man innerhalb desselben Wärmegürtels gelegene Teile verschiedener Kontinente mit einander, so sieht man, dass einer fast vollkommenen Uebereinstimmung der Klimate durchaus nicht eine Uebereinstimmung der organischen Wesen entspricht. Auch passen im Allgemeinen Pflanzen und Tiere wol am besten für das Klima in dem sie leben, man weiss jedoch selten in wie weit die Existenz vieler Arten nicht hauptsächlich von Bedingungen abhängt, die zu dem Klima in keiner ursächlichen Beziehung stehen. Bekannt sind die Beispiele europäischer Pflanzen und Tiere, die sich unter den verschiedensten klimatischen Verhältnissen über die ganze Erde

verbreitet und oft sogar eingeborene Arten ihres neuen Wohnortes ausgerottet haben.

Die organischen Wesen besitzen in der That in hohem Grade die Fähigkeit, sich dem Wärmegrade des Klimas anzupassen. In dieser Hinsicht erinnert der vor zwei Jahren verstorbene, verdienstvolle Geologe M. NEUMAYR, der viel dazu beigetragen hat, dass man die Ergebnisse, auf Grund derer die alten Klimate beurteilt werden, nach ihrem richtigen Werte schätzen gelernt hat, an eine schon früher (u. A. von GARDNER und DE SAPORTA) oft nachgewiesene Fehlerquelle. Organische Formen, welche in einem kühleren Klima entstanden sind, können sich, unter Anpassung an die neuen Lebensbedingungen allmählich (auf der nördlichen Halbkugel) auch nach Süden verbreiten. Sie acclimatisiren sich unter diesen neuen, im Ganzen günstigeren Lebensbedingungen und degeneriren. Inzwischen haben sich in ihrem früheren Vaterlande neue Formen entwickelt, die nun ihrerseits wieder denselben Weg gehen und demselben Loose verfallen. Daher werden südliche Typen immer eine gewisse Uebereinstimmung mit den alten Formen aus dem Norden zeigen müssen, deren Ursache dann nicht in einer Veränderung des Wärmegrades der betreffenden Wohnorte gesucht werden darf.

Auch wird — und hierauf hat HOOKER bereits im Jahre 1856 aufmerksam gemacht — ein üppiges Pflanzen- und Tierleben in einem gleichmässig warmen und feuchten Seeklima bei einer im Mittel tieferen Temperatur, als in einem trocknen, kontinentalen Klima bestehen können. Darum besitzen die Wälder von Neuseeland und Patagonien einen subtropischen Charakter bei Jahrestemperaturen, die diejenigen Frankreichs und Englands nicht übersteigen. ¹⁾

¹⁾ Vergl. vor Allem: M. NEUMAYR, Erdgeschichte. Bd. II. Leipzig 1887, und seine Rede: Die klimatischen Verhältnisse der Vorzeit. Schriften des Ver-

Aus alledem möge hervorgehen, wie vorsichtig man zu Werke gehen muss, wenn man die Temperatur des Klimas einer früheren Periode nach den Ergebnissen der Palaeontologie beurteilen will. ¹⁾

Wenn man sie vorsichtig benutzt, haben diese Ergebnisse dennoch grossen Wert, und dies um so mehr, wenn sie aus einer jüngeren Epoche stammen, seit welcher in den Organismen keine beträchtlichen Veränderungen mehr stattgefunden haben können. Wenn wir in einer so jungen Formation, wie es die pleistocäne (diluviale) in Mittel- und Nord-Europa ist, neben echten arktischen Säugetieren, wie Moschus-Ochs (*Ovibos moschatus*), Rentier (*Cervus tarandus*), Vielfrass (*Gulo borealis*), Lemming (*Myodes torquatus* und *obensis*) und Eisfuchs (*Canis lagopus*), Ueberreste der Polarweide (*Salix polaris*), der Zwergbirke (*Betula nana*), von *Polygonum viviparum*, *Dryas octopetala* und *Arctostaphylos uva-ursi*, und in den Thälern Gemsen und Steinböcke antreffen, wenn wir da ferner arktische und alpine Schnecken, und in den diluvialen Meeresablagerungen Muscheltiere wie *Pecten islandicus*, *Yoldia arctica*, *Astarte borealis* und *Saxicava arctica* finden, dann können wir daraus mit Sicherheit schliessen, dass das Klima von Europa im pleistocänen Zeitalter kühler war als jetzt. Wenn wir des Weiteren in der mitteltertiären Formation Frankreichs und der Schweiz in einer geologisch auch noch nicht sehr entlegenen Zeit Palmen, Feigen- und Zimmbäume, neben Pflanzen mit immergrünen lederartigen Blättern, Tulpen-, Kampher-, Lorbeerbäume und Myrthen, die jetzt in Ländern mit wenigstens subtro-

eines zur Verbreitung naturwiss. Kenntn. in Wien, 1889. Unter dem Titel: The Climates of Past Ages, ist dieser letztere Aufsatz auch in Uebersetzung erschienen in: Nature, Vol. 42, 1890, p. 148 und 175.

¹⁾ Sehr lesenswert ist in dieser Beziehung Kap. xii in: A. WOEFKOF, Die Klimate der Erde, 1. Theil. Jena 1887.

pischem Klima wachsen, und unter vielen anderen Arten die Ueberreste der riesigen *Dinotherium* und *Helladotherium*, von *Mastodon*, *Rhinoceros*, *Hippopotamus* und anthropoiden Affen finden; wenn wir ferner auf Trogons, Papageien, Pelikane, Ibis und Salanganen, und auf dem alten Meeresboden auf eine Gesellschaft von Weichtieren stossen, die aus vielen Arten von *Cypraea*, *Oliva*, *Mitra*, *Conus*, *Terebra* besteht, wenn wir sehen, dass in der Nähe von Wien noch lebende Arten von Korallen Riffe gebaut haben — dann ist durch diese übergrosse Anzahl von Thatsachen bewiesen, dass auch in dieser so viel früheren Zeit in Europa ein ganz anderes, wärmeres Klima herrschte. Lässt man den Anteil, der ohne Zweifel der Acclimatisationsfähigkeit der Arten und Gattungen zukommt, und den Einfluss des insularen Klimas, das Europa damals besass, ausser Rechnung, so kann man mit HEER aus dem Charakter der schweizerischen mitteltertiären Flora schliessen, dass die mittlere Temperatur (reducirt auf das Meeresniveau), daselbst um 7° bis 9° höher gewesen sein muss als gegenwärtig. Die erwähnte Acclimatisationsfähigkeit, welche auf der Veränderlichkeit der Constitution und der Lebensbedürfnisse der Organismen beruht, sowie der wolthätige Einfluss der gleichmässigen Wärme und Feuchtigkeit des Klimas können diesen Unterschied nur zum kleinsten Teile erklären.

In der That müssen, nicht nur in der Tertiärperiode, sondern auch in früherer Zeit, sowol in Europa, Asien und Nordamerika, als auch in den gemässigten Gegenden der südlichen Hemisphäre, die Klimate im Allgemeinen wärmer gewesen sein als die jetzigen. Von localen Unregelmässigkeiten der Wärmeverteilung, die auch früher bestanden haben, abgesehen, war das palaeothermale Phänomen eine allgemeine Erscheinung, welche die ganze Erde betraf, jedoch so, dass der Unterschied zwischen dem damaligen

und dem jetzigen Zustande gegen die Pole hin zunahm.
 Diese allgemein grössere Gleichmässigkeit der klimatischen Verhältnisse in früheren Epochen ist eine feststehende Thatsache.

Die frühere arktische Pflanzenwelt als Beweis wärmerer Klimate.

Den besten Beweis dafür liefern die fossilen Floren der Polargegenden, deren Beschreibung und eigentliche Entdeckung, eine der grössten in der Geschichte der an grossen Entdeckungen so reichen, jungen Wissenschaft der Geologie, allein schon den Namen HEER'S unsterblich gemacht hätte.¹⁾

Riesige Sigillarien, Lepidodendren und Calamiten, Bäume, die mit unseren Bärlappen und Schachtelhalmen verwandt sind, lebten während der Kohlenperiode, ebenso wie in den

¹⁾ OSWALD HEER ist, namentlich durch seine beiden Hauptwerke: Die Urwelt der Schweiz, 1864 und 1879, und: Flora fossilis arctica, 1868, der eigentliche Schöpfer einer Palaeoklimatologie. Das Meiste, was wir von den geologischen Klimaten wissen, verdanken wir diesem schweizerischen Naturforscher. Bei der Beurteilung der früheren Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche nach den Ergebnissen der Palaeontologie ging er mit viel mehr Kritik zu Werke als viele seiner Nachfolger; deren übertriebene Schlüsse man nicht selten als die seinigen ausgiebt.

Von 1871 bis 1883 erschienen noch sechs weitere Bände der Flora fossilis arctica.

A. DE CANDOLLE hat bereits im Jahre 1855 in seiner: Géographie botanique raisonnée, und später in einigen kleineren Schriften auf klare Weise die Beziehung zwischen dem Charakter der Flora und dem Klima einer gründlichen Untersuchung unterworfen, und die Ideen des grossen Botanikers van Genf haben auf HEER'S Arbeit den grössten Einfluss ausgeübt.

Die ersten Anzeichen eines früheren milderer Klimas unter hohen Breiten fand A. ERMAN im Jahre 1829 in Kamtschatka unter 63° N. Br. (Reise um die Erde. 3. Bd. Berlin 1848, p. 149).

Eine kleine Arbeit von H. R. GOEPPERT: Ueber die Tertiärflora der Polargegenden, in: Bulletin de l'Académie impériale des Sciences de St. Pétersbourg, T. 3. 1861, p. 448—461, war so gut wie unbeachtet geblieben.

gemässigten Zonen der nördlichen und südlichen Hemisphäre, auch auf Spitzbergen unter $77\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br. Von den 26 dort gesammelten Pflanzenarten wuchsen 17 zugleich in Mitteleuropa. Ferner bestand im amerikanischen Nordpol-Archipel, unter dem 75. Breitengrade, und in Sibirien an der Mündung der Lena, unter $71\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br., ein üppiger carbonischer Pflanzenwuchs.

Fossile Pflanzen der Perm- und Triasperiode kennt man aus arktischen Ländern noch nicht, wol aber zwei *Ichthyosaurus*-Arten von Spitzbergen, unter $78\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br.; hier und besonders im nördlichen Sibirien in der Nähe der Mündung des Olenek (bei 73° N. Br.) hat man Meermuscheln gefunden, die den damals unter mittleren Breiten lebenden ähnlich sind.

In der Juraformation von Spitzbergen fand man, unter $78\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br., 32 Arten von Schachtelhalmen, Farnen, Sagopalmen (Cycadeen) und Coniferen, von denen 10 auch aus mittleren Breiten bekannt sind.

Wichtiger ist das, was man von der Kreideformation weiss. HEER machte uns mit der von NORDENSKJÖLD entdeckten reichen Kreideflora der Westküste von Grönland bekannt, die Farne, Schachtelhalme, Sagopalmen, Coniferen, Gräser, Schilfrohr, Baumlilien (*Liriodendron*) und, in etwas jüngeren Schichten, auch Laubbäume, wie Magnolien, *Ficus*-Arten, *Sassafras*, Pappeln, enthielt, wie sie in der jüngeren Kreideformation von Europa vorkommen, wo jedoch tropische und subtropische Arten zahlreicher vertreten sind.

Noch reichhaltiger ist der tertiäre Pflanzenwuchs der Polargegenden, den Heer für miocän hielt, dem aber jetzt mit BELT, STARKIE GARDNER und DE SAPORTA, einige Palaeontologen einen etwas älteren (eocänen) Charakter zuschreiben. HEER beschrieb tertiäre Pflanzen von Island, Grönland, Grinnell-Land, Spitzbergen und Nordcanada.

Grinnell-Land im grossen nordamerikanischen Archipel ist der nördlichste Punkt der Erde, von dem eine fossile Flora bekannt ist. Unter $81\frac{3}{4}^{\circ}$ N. Br. sammelte hier Kapitän FEILDEN von der NARES-Expedition 26 Pflanzenarten, die nachträglich von HEER beschrieben wurden. Zehn davon waren Coniferen, unter denen vor allen die grosse Sumpfcypresse (*Taxodium distichum*), die jetzt in den südlichen Vereinigten Staaten lebt, zahlreich vorkam. Daneben wuchsen Pappeln, Birken, Linden, Ulmen, Haselnusssträucher und ein Schneeball, und in einem, mitten in diesem Walde gelegenen See, Seerosen, Riedgräser und Schilfrohr. Eine derartige Vegetation findet man jetzt in der nördlichen gemässigten Zone bei einer mittleren Jahrestemperatur von 8° C. Und sie konnte existiren, wo die Temperatur jetzt — 20° C. beträgt.

Von Spitzbergen, zwischen $77\frac{1}{2}^{\circ}$ und 79° N. Br., beschrieb HEER 179 Pflanzenarten. Die Flora ist der von Grinnell-Land ähnlich, deutet aber doch auf ein etwas wärmeres Klima hin. Da wuchsen auch echte Cypressen (*Libocedrus*), Weiden und nicht weniger als 7 Arten von Pappeln, auch Eichen, Platanen, Magnolien, Wallnuss- und Ahornbäume, ferner Kornelkirschen, Weissdorn und andere Sträucher, und in einem Sumpfe, Riedgräser, Schwertlilien, Calmus und Laichkraut (*Potamogeton*). Dies ist eine Flora, die mit der jetzigen von Norddeutschland bei einer mittleren Jahrestemperatur von 9° C. übereinstimmt. In jenem Teile von Spitzbergen beträgt diese jetzt — 8° C.

In einem noch etwas wärmeren Klima muss die reiche tertiäre Flora Grönlands (hauptsächlich bei dem 70. Breitengrad) gelebt haben. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt daselbst jetzt — 7° C. Hier wuchsen, neben vielen anderen Arten grosser Waldbäume, auch Mammutbäume (*Sequoia*), die japanische Gattung Gingko (*Salisburia*), Kastanien, Magnolien mit immergrünem Laube, Lorbeer und eine Weinrebe.

Jetzt müssen wir, sagt HEER, 20° — 25° südwärts gehen, an die Ufer des Genfersee, nach Californien und Japan, um bei einer Jahrestemperatur von $10\frac{1}{2}^{\circ}$ C. in Europa, Nordamerika und Asien eine derartige Pflanzenwelt anzutreffen.

Auch westlicher im arktischen amerikanischen Archipel, auf Banks-Land bei 74° N. Br., auf der Prinz-Fratrikinsel, bei 76° N. Br., mehr nach Osten auf der Insel Neusibirien unter 75° und $75\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br., und an einigen anderen Orten innerhalb des Polarkreises, hat man viele Ueberreste einer reichen Waldvegetation gesammelt, deren Existenz beweist, dass einst in der Nähe des Nordpols und rund um denselben herum ein viel wärmeres Klima, als das jetzige geherrscht haben muss, und dass der Unterschied von dem heutigen Zustande daselbst bedeutend grösser war als unter mittleren Breiten. ¹⁾ Während für die Schweiz eine Temperaturerhöhung um 7° C. genügt hätte, um die Existenz der mittelertiären Flora zu ermöglichen, ist dies für die Polarzone durchaus nicht der Fall. Der Unterschied vom gegenwärtigen Zustande war hier so gross, dass wir die Temperatur von Grönland unter 70° N. Br. und die von Spitzbergen unter $78\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br. mindestens um 17° C., und die von Grinnell-Land unter $81\frac{3}{4}^{\circ}$ N. Br. selbst um 28° C. höher veranschlagen müssen, als die gegenwärtige. Bei Betrachtung dieser Zahlen vergesse man nicht, dass Nordamerika im Vergleiche mit Europa heute ein besonders kühles Klima besitzt, und dass, wenn der arktisch amerikanische Archipel jetzt in

¹⁾ Für Banks-Land und die Prinz-Patrick-Insel ist die Möglichkeit nicht ganz ausgeschlossen, dass die Bäume angespült sind, obwol es den Entdeckern (MAC CLURE und MAC CLINTOCK) selbst schien, dass sie an Ort und Stelle gewachsen sein mussten. Letzteres war nach VON TOLL sicher der Fall auf Neusibirien, wie aus dem Vorkommen von Braunkohlen und von ganzen Schichten von Blattresten und Fruchtzapfen hervorgeht. (J. SCHMALHAUSEN, Tertiäre Pflanzen der Insel Neusibirien. Mém. de l'Acad. impér. des Sc. de St. Pétersbourg, T. 37. 1890, No. 5).

demselben Maasse durch warme Meeresströmungen begünstigt würde, wie Spitzbergen und die Küste von Grönland, man für Grinnell-Land mit derselben Temperaturerhöhung für die Tertiärzeit ausreichte, wie für die erwähnten östlicher gelegenen Länder der Polarzone.

Im Ganzen sehen wir überall nach den Polen hin, die Abweichung von den gegenwärtigen Temperaturen zunehmen. Nach dem Charakter der mitteltertiären Pflanzen, die GOEP-
PERT, HEER, GEYLER, CRIÉ und VON ETTINGSHAUSEN von Java, Borneo und Sumatra beschrieben haben, und nach dem Charakter der von MARTIN aus Java beschriebenen miocänen Seetiere, können in dieser Zeit in der Nähe des Aequators die Unterschiede der Temperaturen von der gegenwärtigen Zeit nur gering gewesen sein. Vielleicht waren sie während der älteren Perioden auf dem Festlande ein wenig grösser; wenigstens dürften einige Erscheinungen in der Verbreitung der Organismen (hauptsächlich der Landorganismen) in der silurischen, der ersten Hälfte der Steinkohlenzeit und einigen anderen älteren Perioden dahin zu deuten sein. ¹⁾

Sehr wenig wissen wir noch von der früheren Lebewelt in hohen südlichen Breiten. Es müssen jedoch dort, nach dem Charakter der fossilen Pflanzen- und Tierwelt von mittleren

¹⁾ Nach HEER'S späteren Untersuchungen (vergl: C. SCHRÖTER, Oswald Heer, Lebensbild eines schweizerischen Naturforschers. Zürich 1888, p. 335) waren die Temperaturen in der tertiären Zeit (Untermiocän und Oligocän von HEER):

Ober-Italien	22° C.
Schweiz	20 ¹ / ₂ °
Niederrheinisches Becken	18°
Gegend von Danzig	17°
Grönland bei 70° N.Br.	12°
Spitzbergen bei 78° N.Br. . . .	9°
Grinnell-Land bei circa 82° N.Br..	8°

Breitegraden zu urteilen, im Ganzen dieselben klimatischen Verhältnisse geherrscht haben, wie auf der nördlichen Halbkugel.¹⁾

Dass, trotz der langen Polarnacht, früher selbst immergrüne Bäume und Sträucher in den arktischen Gegenden gedeihen konnten, sucht HEER durch Vergleichung mit Thatsachen aus der Gegenwart zu erklären: dass auch jetzt einige Bäume und Sträucher in der Nähe des 70. Grades N.Br. die lange Polarnacht ertragen, dass viele tropische Pflanzen in St. Petersburg in Treibhäusern überwintern, wo sie lange Zeit hindurch sehr wenig Licht empfangen, und dass den wintergrünen Alpensträuchern, wie Legföhren, Alpenrosen und Heidekraut, ebenfalls monatelang durch den Schnee alles Licht entzogen wird. Man kann dem noch hinzufügen, dass die Nacht der Polargegenden, durch die dort sehr intensive Dämmerung²⁾ beträchtlich verkürzt wird, dass bei einem niedrigen Einfallswinkel der Sonnenstrahlen ihre Leuchtkraft im Verhältnisse viel weniger abnimmt als ihr erwärmender Einfluss, und dass, schliesslich, und vielleicht hauptsächlich, der arktische Sommer wol kurz dauert, aber die Menge an Sonnenlicht relativ gross ist, und die Hälfte von derjenigen beträgt, welche in gleich langer Zeit am Aequator empfangen wird.³⁾ Die Pflanzen können

¹⁾ Die tertiäre Flora von Neu-Süd-Wales und von Neuseeland besass beiseitensweise denselben klimatischen Charakter, wie die von Europa und war sogar nahe mit ihr verwandt (v. ETTINGSHAUSEN, Denkschr. K. Akad. Wiss. Wien, Math. Nat. Cl. 1886. Bd. 53, p. 79 und 1887, p. 140).— Aus dem Tertiär der Kerguelen (49° S. Br.) beschrieb L. CRIÉ (Palaeont. Abhandl. von DAMES und KAYSER, N. F. Bd. 1, Heft 2, 1889) mächtige Baumstämme (*Cupressoxylon*), und, von Punta arenas (53 1/2° S. Br.) an der Magalhaensstrasse, H. ENGELHARDT eine tertiäre Florula von tropischem Charakter (Abhandl. der SENCKENBERG. naturf. Gesellsch. Frankfurt a. M. 1891).

²⁾ Vergl.: J. HANN, Handbuch der Klimatologie. Stuttgart 1883, p. 749 sqq.

³⁾ R. SPITALER, Die Lichtvertheilung auf der Erdoberfläche. Eders Jahrbuch für Photographie, 1888. Ref. in Petermann's Mittheilungen, 1888. Litt. Ber. N^o. 546.

dadurch einen grossen Vorrat Stärke ansammeln, aus dem sie, sobald im Frühling die Temperatur steigt, schöpfen, um ihre Knospen und Blätter rasch zur Entwicklung zu bringen. ¹⁾

In der Nähe des Poles ist die Sonnenstrahlung während eines Tages um die Sommermitte sogar höher, als zu jeder Jahreszeit am Aequator. Der grösste Teil dieser Strahlungswärme wird aber jetzt zur Schmelzung des Eises und der Schneemassen aufgebraucht, welche sich während der langen Frostzeit gebildet und angehäuft haben. ²⁾ Wie ganz anders würde das Pflanzenleben in den Polarregionen gedeihen, wenn hier während des ganzen Jahres warme Meeresströmungen die Bildung der mächtigen Eismassen verhinderten und auch zur nächtlichen Winterszeit milde Winde wehten!

Klimatische Zonen früherer Perioden.

Eines der wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen HEER'S ist, dass die tertiäre arktische Flora um den Pol einen geschlossenen Gürtel bildet, — und im Zusammenhange damit sei an dieser Stelle daran erinnert, dass bereits der grosse Phytopalaeontologe eine Veränderung der Lage der Erdachse und der geographischen Lage der Pole, als Erklärung der tertiären Wärmeverteilung, mit Bestimmtheit verwarf.

Auch hatte HEER für die Tertiärperiode und die zweite Hälfte der Kreidezeit bewiesen, dass damals concentrisch um den jetzigen Pol Klimagürtel bestanden. In den früheren

¹⁾ Vergl. die Schilderungen des verhältnissmässig reichen gegenwärtigen Pflanzenwuchses im Innern von Grinnell-Land von A. W. GREELY. (Three Years of Arctic Service. An Account of the Lady Franklin Bay Expedition of 1881—84 and the Attainment of the Furthest North. London 1886).

²⁾ Vergl.: J. HANN, Handbuch der Klimatologie, p. 744.

Zeitaltern, meinte er — und diese Meinung ist noch heute nur allzu verbreitet — hat auf der ganzen Erdoberfläche ein einförmiges tropisches Klima geherrscht, dessen Jahrestemperatur jedoch zwischen den Grenzen von 20° bis 25° C. geschwankt hätte. Man hat später die Grundlosigkeit der Annahme einer vollkommen gleichmässigen Wärmeverteilung in der vor-tertiären Zeit erkannt. Ausser unregelmässigen klimatischen Abweichungen in den älteren Perioden hatte man schon lange (F. RÖMER 1852) in der Kreideformation eine deutliche nördliche und südliche Facies der Fauna beobachtet, die einer ähnlichen, wenn auch weniger stark ausgeprägten Verteilung der Wärme in Zonen zwischen dem Aequator und den Polen, wie sie sich heute findet, zugeschrieben werden musste. NEUMAYR bewies dann auch für die Jura-periode auf ausführliche Weise die Existenz von Zonen.¹⁾ Durch genaueres Studium der Verbreitung der Seetiere gelang es ihm eine tropische Zone zu erkennen, die nach Süden bis zum 20. Grad S.Br. reicht, und nach Norden zu die südlichen Teile von Europa umfasst; eine gemässigte (dem Klima nach eigentlich als subtropisch zu bezeichnende) Zone, die sich westlich von Skandinavien in einem, dem jetzigen Atlantischen Ocean entsprechenden Meeresarm, am weitesten nach Norden erstreckt; und endlich eine boreale (eigentlich warm gemässigte) Zone, der auch der höchste Norden angehört. Während der ganzen Juraperiode, die, nach den Veränderungen der organischen Welt zu urteilen, viel länger gedauert haben muss, als die tertiäre, und auch während der Kreidezeit, blieben diese Grenzen, trotz bedeutender Veränderungen in der Verteilung von Land und

¹⁾ M. NEUMAYR, Ueber klimatische Zonen während der Jura und Kreidezeit. Denkschriften der K. Akademie der Wissensch. zu Wien. Math. Nat. Cl. 1883. Bd. 47, und: Die geographischen Verbreitung der Juraformation, Ibid. 1885. Bd. 50, p. 57.

Wasser, im Allgemeinen unverändert, ein Beweis wie wenig Einfluss diese Verteilung auf die allgemeine Wärmeverteilung auf der Erdoberfläche hat, wenigstens soweit es die Temperaturen des Meereswassers (und die Seeklimate) betrifft.

Wahrscheinlich haben auch während früherer Perioden ähnliche Zonen bestanden, mit vermutlich noch geringeren gegenseitigen Temperaturunterschieden, und möglicher Weise wird es später gelingen sie in anderen Weltteilen ebenso zu finden, wie für die Jura- und Kreidezeit in Europa. Für die Beurteilung der Klimate der älteren Perioden liegen, wie NEUMAYR mit Recht bemerkt, in Europa die geologischen Verhältnisse zu ungünstig. Es scheint in der That, als ob die Kohlenflora und die Kohlenkalkfauna des hohen Nordens (durch das seltene Auftreten oder das Fehlen von Sigillarien und durch die Seltenheit von Fusulinen) sich doch ein wenig von den europäischen unterscheiden. Auch auf Grund der beobachteten beinahe vollkommenen Stabilität während des grössten Teiles der mesozoischen Periode, kann man annehmen, dass die Wärmeverteilung wahrscheinlich auch seit Beginn des palaeozoischen Zeitraumes keinerlei bedeutenden Veränderungen unterworfen war. Soviel steht bereits fest, dass während der Kohlenperiode in Europa und Nordamerika eine geringere, als die gegenwärtig tropische Temperatur die beobachteten Vorgänge am Besten erklären würde. Doch geht man gewiss zu weit, wenn man in einem neuseeländischen Walde die beste recente Illustration der alten Kohlenvegetation erblickt. Nicht die dort überwiegenden Baumfarne und Coniferen, sondern weichstämmige Bäume deren nahe Verwandten, die jetzigen krautartigen Equisetaceen und Lycopodinen, meist Tropenbewohner sind, müssen als die Haupttypen der Kohlenformation betrachtet werden. Mit etwas mehr Berechtigung könnte man die car-

bonische Vegetation mit den sumpfigen Wäldern von baumhohen Equiseten bei Caracas in Venezuela vergleichen. Die carbonischen Farne weichen beträchtlich von den heutigen Typen ab, aber die Hälfte der Artenzahl war doch verwandt mit der gegenwärtigen tropischen Familie der Marattiaceen. Jeder Vergleich dieser alten Flora mit den jetzigen Pflanzentypen wird jedoch wegen ihrer so entfernten Verwandtschaft irrig ausfallen müssen; man kann aber von dem allgemeinen Charakter der carbonischen Flora wol sagen, dass diese alten Cryptogamen mit ihren riesigen, doch saftreichen, wenig Holzfasern besitzenden Stämmen, ihrer spärlichen Verzweigung und ihren kurzen, steifen, grasartigen Blättern gut eingerichtet gewesen zu sein scheinen, um heftigen Winden zu widerstehen, aber gewiss nicht, um einen noch so geringen Frost zu ertragen. Ihr Vorkommen in mittleren Breiten und selbst in der Polarzone erscheint mir daher als sicherer Beweis dafür, dass dort in der palaeozoischen Zeit nicht nur feuchtere, sondern auch beträchtlich wärmere und gleichmässigere Klimate geherrscht haben als jetzt. Einen, fast einem Experimente gleichstehenden Beweis für die Richtigkeit der Ansicht, dass ein mildes Klima thatsächlich Lebensbedürfniss für die carbonische Flora war, liefern uns die beim Auftreten glazialer Erscheinungen in Südafrika und Australien während der zweiten Hälfte der Kohlenperiode, beobachteten Erscheinungen. Wir sehen, dass hier beim Herannahen der Kälte die echte palaeozoische Kohlenflora, die sonst überall gerade zu dieser Zeit ihre höchste Entwicklung erreicht, sofort ganz ausstirbt und einer Flora weicht, welche in Europa erst viel später, in der Triasperiode, erscheint.¹⁾

¹⁾ W. WAAGEN, Die carbone Eiszeit. Jahrbuch der K. K. Geol. Reichsanstalt. Wien 1887. Bd. 37, p. 143.—Eine Uebersetzung dieser interessanten Abhandlung erschien auch in: Records of the Geol. Survey of India. 1888. Vol. 21, p. 89.—Vergl. ferner: O. FEISTMANTEL, Ueber die pflanzen- und

Ausser in der Verbreitung der Pflanzen, deren Existenz im Allgemeinen, mehr als die der Tiere, unmittelbar vom Klima abhängt, hat man mit Recht seit jeher in der Verbreitung der Riffkorallen ein wichtiges Moment für die Beurteilung der früheren Klimate erkannt. Korallen sind in der That charakteristisch tropische Organismen. Riffbauende Korallen leben heute ausschliesslich in warmen Meeren, deren Oberflächentemperatur niemals unter 20° C. sinkt und wo die jährliche Temperaturschwankung nicht grösser ist als 7° C. Die äusserste Grenze ihres Vorkommens liegt deshalb jetzt bei den Bermuda-Inseln unter 32° N. Br., wo die Wärme des Golfstromes noch sehr merkbar ist. Dagegen findet man sie nicht bei den Galapagos-Inseln unter dem Aequator, weil diese durch den kühlen Perustrom gespült werden. Man kennt mächtige alte Korallenriffe aus der silurischen und carbonischen Formation Europa's, Nordamerika's und vieler anderer Gegenden mittlerer und hoher Breiten. Innerhalb des Nordpolarkreises hat man silurische Riffkorallen u. a. auf Nord-Devon und auf der Beechy-Insel gefunden. Jedoch weicht der Typus dieser palaeozoischen Korallen bedeutend ab von dem der jetzt lebenden; man kann deshalb glauben, dass sie sich anderen, als den für die gegenwärtigen Riffbauer gültigen Lebensbedingungen angepasst hatten, obwohl es, aus physiologischen Gründen, kaum denkbar ist, dass dieser Unterschied ein sehr grosser gewesen sein kann. ¹⁾

kohlenführenden Schichten in Indien, Afrika und Australien, und darin vorkommende glaziale Erscheinungen. Sitzgsber. Böhm. Gesellschaft d. Wiss. 1887, und: Ueber die geologischen und palaeontologischen Verhältnisse der im Gondwana-System vorkommenden Arten. Sitzgsber. Böhm. Ges. d. Wiss. 1889, p. 584—654.

Auch: On the Coal and Plant-bearing Beds of Palaeozoic and Mesozoic Age in Eastern Australia and Tasmania; with special Reference to the Fossil Flora. Memoirs Geol. Survey New South Wales. 1890.

¹⁾ Die Kalkabsonderung der Organismen hängt nämlich in hohem Grade

Reste alter Korallenriffe bestehen in Europa auch in der Triasformation.

Mit grösserer Sicherheit lässt sich die Temperatur der alten Meere beurteilen nach der Verbreitung der Riffkorallen in der Jura- und Tertiärformation, wo diese bereits den heutigen Typus zeigen. Die dem Jura angehörenden erreichen gegen Norden Norddeutschland und die Mitte von England. In der Kreideperiode und in der ersten Hälfte der Tertiärzeit liegt ihre Grenze hier nur um ein Geringes südlicher, in anderen Erdteilen hingegen hat sich diese Grenze weiter vom Aequator entfernt; allgemeine, die gesammte Erde betreffende Veränderungen können wir während der Kreideperiode noch nicht wahrnehmen.

Oertlich abweichende klimatische Verhältnisse.

Nordamerika besass bereits in der Juraperiode ein etwas kühleres Klima als Europa, in der Kreidezeit tritt dies noch deutlicher hervor und während das Eocän in Mitteleuropa einen fast vollkommen tropischen Charakter zeigt, ist die eocäne Flora auf dem Kontinente von Nordamerika die eines subtropischen oder mässig warmen Klimas. Europa muss wenigstens während der Tertiärzeit im Vergleiche mit anderen Erdgegenden ein abnorm warmes, das Innere Nordamerikas ein abnorm kühles Klima besessen haben; — ein Unterschied der dem der Jetztzeit ganz analog erscheint und der höchst wahrscheinlich auch aus denselben Ursachen zu erklären ist. Nordamerika bildete bereits sehr früh ein grosses Festland, aus dem sich zur Zeit des Ueberganges von der Kreide- zur Tertiärperiode die letzten grossen

von der Temperatur ab. Vergl.: J. MURRAY und R. IRVINE. On Coral Reefs and other Carbonate of Lime Formations in Modern Seas. Proceed. Royal Society of Edinburgh, Vol. 17. 1890, p. 80—82 und p. 90.

Meeresarme zurückzogen, so dass der kontinentale Charakter sich bereits damals zu seinem gegenwärtigen Zustande entwickelte. Es muss deshalb, bei denselben allgemeinen Wärmeverhältnissen der Erde, ein ganz anderes, nämlich auch kühleres Klima gehabt haben als Europa. Letzteres bestand ja lange Zeit hindurch aus Inseln und Halbinseln mit grossen Binnenseen und breiten Meeresarmen, durch welche mit den vorherrschenden Winden warmes Wasser aus südlichen Gegenden zugeführt werden konnte, was das Klima bis in das Eismeer hinein zu einem sehr milden gestalten musste. Es scheint ferner, dass während langer Zeiträume, und bis in die Tertiärperiode über Russland und Sibirien hin, ausgedehnte Verbindungen der arktischen Meere mit den warmen Meeren Europas und des südwestlichen Asiens bestanden haben. Auch in den arktischen Gegenden von Nordost-Asien und Nord-Amerika müssen aus diesen Ursachen günstigere Verhältnisse geherrscht haben, als jetzt, und im Centrum von Asien; am Fusse des Altaigebirges vermochte ein echt tertiärer Waldwuchs zu existiren. ¹⁾

Locale Abweichungen von der allgemeinen Wärmeverteilung kommen, ebenso wie gegenwärtig, auch in allen früheren Perioden vor, und so viele Geologen haben in verschiedenen Gegenden und fast in der ganzen Reihe der Formationen Spuren einer Einwirkung von Eis zu erkennen geglaubt, dass man diese wol nicht unbeachtet lassen darf. ²⁾ Diese älteren Eisbildungen unterscheiden sich jedoch von der pleistocänen dadurch, dass sie nicht allgemein, sondern offenbar ohne directen Zusammenhang mit dem Breitengrade in den verschiedensten Erdteilen auftreten, während zu glei-

¹⁾ SCHMALHAUSEN und MAXIMOWICZ in: *Palaeontographica*, Bd. 33, p. 142—216.

²⁾ Eine Uebersicht der angeblichen vordiluvialen Vereisungen findet man bei: CROLL, *Climate and Time*. London 1875, Chapter 18.

cher Zeit in anderen, unter allen möglichen Breitegraden gelegenen Gegenden, Organismen gefunden werden, die auf ein warmes Klima hinweisen. Aus der letzten Hälfte der Kohlenperiode (nach Einigen der ersten Permzeit) kennt man in Südafrika, Vorderindien und Australien ausgedehnte und mächtige Schichten, die weder Sigillarien, Lepidodendren, Calamiten, noch andere echte Kohlenpflanzen enthalten, in denen man hingegen eine Flora von Farnen, hauptsächlich von der Gattung *Glossopteris* mit den verwandten *Gangamopteris* und *Nöggerathiopsis*, ferner Equisetaceen nebst einigen Coniferen und Cycadeen gefunden hat. Diese Vegetation schliesst sich, wie bereits oben gesagt wurde, ganz derjenigen an, welche später, in der Triasperiode, in Europa auftritt, aber durchaus nicht der echten carbonischen Flora. Zugleich mit dieser neuen Flora erscheinen in Südafrika, Indien und Australien Ablagerungen, die alle Merkmale an sich tragen, dass sie unter dem Einflusse des Eises gebildet wurden. ¹⁾ Gleichzeitig besteht in Europa, Asien und Nordamerika und selbst bis in die Nähe des Nordpols die üppige Steinkohlenvegetation und bleibt die carbonische Fauna des Meeres unafficirt. In einer allgemeinen, über die ganze Erde

¹⁾ Vergl.: W. WAAGEN, Die carbone Eiszeit, I. c.; O. FEISTMANTEL, Ueber die pflanzen- und kohlenführenden Schichten in Indien, Afrika und Australien, I. c., u. s. w.

Neueren Berichten zufolge hat man auch in Brasilien Spuren einer carbonischen Vereisung entdeckt (The Carboniferous Glacial Period, Further Note by Dr. W. WAAGEN on a letter from Mr. A. DERBY. Records of the Geol. Survey of India, Vol. 22. 1889, p. 69). Grosse in feinem Thone vorkommende Granit- und Gneissblöcke müssen übrigens nicht gerade durch Eis dahingebracht worden sein. Solange man keine deutlich abgeschliffenen Felsen und gekritzten Steine gefunden hat, gebietet die Vorsicht, die Existenz einer Vereisung in der carbonischen Formation von Brasilien, (die übrigens auch mächtige Kohlenschichten enthält) als mindestens sehr problematisch zu bezeichnen. Ueber pseudoglaciale Erscheinungen vgl.: PENCK in: Ausland 1884, p. 641 sqq.

hin wirkenden Ursache kann man die Erklärung dieser auffallenden Erscheinung demnach nicht suchen. Auch hier hat man an eine Verschiebung der Erdachse und der Pole gedacht. ¹⁾ Untersucht man jedoch genauer, welchen Einfluss eine solche Verschiebung hätte, so wird es deutlich, dass man zwar dem einen Pole eine derartige geographische Lage geben kann, dass das gleichzeitige Vorkommen von Eis und einer fast tropischen Vegetation an verschiedenen Teilen der Erde, wo jetzt gerade entgegengesetzte Verhältnisse bestehen, wenigstens etwas weniger unbegreiflich wird — man versetzt aber damit den anderen Pol mitten in eine echte Kohlenflora. Auch ist der Abstand der vereisten Gegenden vom hypothetischen Südpole so gross, dass die ganze Erde viel kühler hätte sein müssen, was gewiss nicht der Fall war. Es ist wol ganz unmöglich hierbei allgemeine Ursachen zu Hülfe zu rufen, und man sieht sich gezwungen, auch diese weit verbreitete klimatische Abweichung durch locale Einflüsse zu erklären. Es ist bewiesen, dass das Vorkommen von Eis in der Form von Gletschern in viel höherem Grade abhängt von der Feuchtigkeit des Klimas, als von dessen niedrigerer Temperatur. Auf dem feuchten Neuseeland reichen Gletscher bei einer mittleren Jahrestemperatur von 10° C. (einem Klima, ebenso warm wie das von Wien und wärmer als das von Genf) inmitten dichter Wälder mit Baumfarnen, Palmen und Fuchsien, bis zu 213 M. über dem Meere herab, während in den trockenen Berggegenden Ostsibiriens, bei einer mittleren Jahrestemperatur von -15° bis -18° C., weder ewiger Schnee, noch Gletscher gefunden werden.

An der Südseite des Himalaya liegen ewiger Schnee und Gletscher (bei $+0.5^{\circ}$ C. Jahrestemperatur) mehr als 700 M.

¹⁾ H. B. MEDLICOTT and W. T. BLANFORD, *Manual of the Geology of India. Part. I. Calcutta 1879, p. xxxvii.*

niedriger als auf der Nordseite (bei $-2,8^{\circ}$ C. in der Firnlinie). In den Tropen ist die Jahrestemperatur an der Grenze des ewigen Schnees $+1,5^{\circ}$ C., in den Schweizer Alpen ungefähr -3° C. Man hat auch beobachtet, dass in den Alpen die Perioden des Vorstosses der Gletscher mit warmen, die des Rückzuges mit kalten Jahren zusammenfallen können; hingegen nehmen die Gletscher zu, wenn einige Jahre hindurch feuchte Westwinde vorgeherrscht haben, und gehen umgekehrt wieder zurück, sobald Ost- und Nordwinde überwiegen. ¹⁾ Aus diesen und anderen Thatsachen hat man mit Recht geschlossen, dass das wichtigste Moment bei der Gletscherbildung die Menge des in der Firnregion gefallenen Schnees ist. Wenn in den früheren Perioden, und bis in die tertiäre Zeit, die Wärme, ohne Beeinträchtigung der Aequatorialgegenden, thatsächlich viel gleichmässiger als jetzt über die Erde verteilt war, so muss, da tellurische Einflüsse gänzlich ausser Stande sind, selbstständig die Temperatur der ganzen Erde beträchtlich zu ändern, die durch die Erde empfangene Wärmemenge damals grösser gewesen sein. Demzufolge muss die Luft absolut mehr Wasserdampf enthalten haben, und es werden sich da, wo bedeutende Bodenerhebungen bestanden, Schnee und Eis leichter als jetzt zu Gletschern haben anhäufen können. Die untere Grenze des ewigen Schnees kann dann in Gegenden, deren Temperatur der der heutigen Tropen gleichkam, niedriger gewesen sein als die jetzige von ungefähr 5000 M., während die obere höher liegen musste. Bei reichlicher Zufuhr von Schnee hätten sich demnach in Berggegenden Gletscher bilden und unter besonders günstigen Umständen bis zum Meere herabreichen können. Und wie sich fast auf der

¹⁾ C. LANG, Der sekuläre Verlauf der Witterung als Ursache der Gletscherschwankungen in den Alpen. Zeitschr. der Oesterr. Gesellschaft für Meteorologie 1885, Bd. 20, p. 443.

ganzen nördlichen Halbkugel in einem weit ausgedehnten, durch zahlreiche, tief einschneidende Meeresarme zu einem grossen, sumpfigen Archipel gestalteten Tiefplateau, mächtige Kohlenlager entwickeln konnten, mit denen bloss die von Westasien bis nach Australien sich erstreckenden Ablagerungen von Jurakohlen zu vergleichen wären — ebenso scheint es, als ob während der Kohlenzeit ein grosser gebirgiger Kontinent („Gondwánaland“ von SUESS), längs des Aequators und südlich davon, an dazu geeigneten Punkten, eine ausgedehnte Anhäufung von Eis begünstigt hätte. Grosse Gleichmässigkeit der orographischen Verhältnisse über weite kontinentale Erdschollen hin scheint für die Kohlenperiode charakteristisch gewesen zu sein. Es ist nun möglich und wahrscheinlich, dass auf einem solchen Kontinente, bei zunehmender Erhebung, unter den veränderten Lebensbedingungen sich eine neue Flora entwickelte, die in Europa erst viel später, bei Beginn der mesozoischen Periode, in einer bedeutenderen Erhebung des Bodens (man glaubt schon in der Permformation von Europa Spuren von Vereisung gefunden zu haben) Verhältnisse vorfinden konnte, denen sie mehr angemessen war als die palaeozoische Flora, welche darum in dem Kampfe ums Dasein untergehen musste. Von diesen hohen Acclimatisationspunkten aus konnte die neue Flora, indem sie sich höheren Temperaturen anpasste, sich allmählich in das Tiefland verbreiten.

Auch weisen viele Eigentümlichkeiten der Verbreitung der Organismen in anderen Perioden darauf hin, dass in der Temperatur von nicht weit von einander entfernten Gegenden Unterschiede bestanden haben, welche, da ein Einfluss der geographischen Breite hierbei nicht wahrzunehmen ist, ähnlichen localen Einflüssen zugeschrieben werden müssen, wie sie noch gegenwärtig in der Verteilung von Land und Wasser, in der Bodenerhebung, der Windrichtung und in

der Nähe kalter oder warmer Meeresströmungen gegeben sind. Insofern wir jedoch im Stande waren, allgemeine Gesetze in der Wärmeverteilung zu entdecken, mit Sicherheit also seit der Juraperiode, wissen wir, dass sie nach dem gegenwärtigen Plane geordnet war, nämlich in concentrisch um die Pole gelegenen Zonen, die von den jetzigen lediglich durch ihre Grenzen und die Temperaturunterschiede untereinander abwichen.

Die Hypothese von der tertiären Polverschiebung unnötig und ungenügend zur Erklärung der Vorgänge.

Von der tertiären arktischen Flora wusste HEER bereits, dass sie um den Pol einen so geschlossenen Ring bildete, das dieser daraus nirgends entkommen konnte. Auch hier bringt die Annahme einer Polverschiebung zur Erklärung des palaeothermalen Phänomens keinerlei Vorteil.¹⁾

Da jedoch auch keine andere der aufgestellten Hypothesen befriedigt, hat man in der jüngsten Zeit, ebenso wie der Ertrinkende nach dem Strohhalme greift, die fast vergessene Polverschiebung doch wieder zu Hülfe gerufen. Ermutigt durch die neuen Beweise, welche von astronomischer Seite für das

¹⁾ Von den früheren Versuchen, um bei Mangel an etwas Besserem, die Erklärung der warmen arktischen Klimate in säculären Veränderungen der Lage der Erdachse zu suchen, giebt F. VON CZERNY (Die Veränderlichkeit des Klimas und ihre Ursachen. Wien. Pest. Leipzig 1881, p. 86 sqq.) eine Uebersicht. S. HAUGHTON hat bereits im Jahre 1878 (Nature, Vol. 18, p. 266 sqq.) auf geologische Gründe gestützt, die Unmöglichkeit dieser Erklärung gezeigt. Was die mechanische Seite der Frage betrifft, so steht jetzt fest, dass beträchtliche Verschiebungen der Pole durch geologische Prozesse nur dann verursacht werden können, wenn die Starrheit der Erde keine sehr bedeutende ist. (G. V. SCHIAPARELLI, De la rotation de la Terre sous l'influence des actions géologiques. Mémoire présenté à l'Observatoire de Poulkova à l'occasion de sa fête sémiséculaire. St. Pétersbourg 1889).

thatsächliche Vorkommen kleiner Veränderungen in der Lage der Erdachse geliefert wurden, meinten NEUMAYR und NATHORST im Stande zu sein, durch die Annahme grösserer derartiger Veränderungen die warmen Klimate der Polarregion wenigstens teilweise erklären zu können. ¹⁾ Abgesehen davon, dass es bezweifelt werden muss, ob man das Recht habe, auf Grund von bewiesenen Verschiebungen von Teilen einer Secunde, deren Verlauf man einstweilen noch nicht zu beurteilen vermag, Verschiebungen von zehn und mehr Graden anzunehmen, so sind auch die Ergebnisse der Palaeontologie mit einer derartigen Verschiebung nicht gut in Einklang zu bringen. NEUMAYR sieht sich zu seiner Annahme genötigt vor Allem durch die üppige tertiäre Vegetation von Grinnell-Land und durch die Thatsache, dass die tertiären Pflanzen von Alaska bei 60° N. Br., kaum mehr vom Charakter einer südlichen Flora an sich tragen, als die tertiären Pflanzen von Spitzbergen bei 78° N. Br., und endlich dadurch, dass auch ausserhalb der Polarkreise die Verbreitung der Organismen auf eine derartige Verschiebung hinzuweisen scheint. Thatsächlich gehört die tertiäre Flora des Inneren von Nordamerika einem subtropischen oder mässig warmen Klima an, und die von NATHORST beschriebenen spätertertiären Pflanzen von Mogi auf der japanischen Insel Kiushiu weisen auf ein Klima hin, das etwas kühler war als das jetzige; auch konnte die Untersuchung der tertiären Seetiere von der chilenischen Küste (bei 35° S. Br.) weder DARWIN, noch PHILIPPI davon überzeugen,

¹⁾ M. NEUMAYR, Erdgeschichte. Bd. II. p. 512 sqq. und: Die klimatischen Verhältnisse der Vorzeit I. c.

A. G. NATHORST, Zur fossilen Flora Japans. Palaeont. Abhandlungen herausgegeben von DAMES und KAYSER, Bd. IV. 1888.

dass das Meerwasser damals eine höhere als die gegenwärtige, relativ kühle Temperatur besass.¹⁾

Es muss auffallen, dass alle diese Gegenden auch jetzt ein verhältnissmässig kühles Klima besitzen. Da in der Tertiärzeit die Kontinente (mit Ausnahme von Europa) wenigstens in den besprochenen Gegenden von Nordamerika, Südamerika und Ostasien im Ganzen bereits die heutigen Grenzen hatten, so liegt es wol näher die Ursache der tertiären Abweichungen vom allgemeinen Plane der Wärmeverteilung in noch gegenwärtig herrschenden Einflüssen, als in problematischen, bedeutenden Veränderungen der Lage der Erdachse zu suchen. Das Klima des tertiären Nordamerika, eines grossen, dem directen Einflusse warmer Meeresströmungen entzogenen Kontinents, passte gewiss nicht so für eine subtropische Vegetation, wie das insulare durch Seeströmungen erwärmte Klima Europas, und der Unterschied zwischen den Klimaten dieser beiden Weltteile muss damals noch grösser gewesen sein als heute. In der Pliocänzeit, während welcher die allgemeine Wärmeverteilung nur wenig mehr von der jetzigen abwich, mag Japan sehr wol dadurch etwas kühler gewesen sein, dass es durch Verbindung der Inseln mit dem Festlande ein weniger insulares Klima hatte und dann auch die kalte Oja-Shioströmung an der Ostküste kräftiger wirken konnte, während der Einfluss jenes Zweiges des warmen Kuro-Shiostromes, der die heutige Westküste bespült, ausfiel.²⁾

¹⁾ R. A. PHILIPPI, Die tertiären und quartären Versteinerungen Chile's. Leipzig 1887.

CH. DARWIN, Geological Observations on the volcanic Islands and Parts of South America visited during the voyage of H. M. S. „Beagle.” Third Edition. London 1891, p. 413. DARWIN's „Observations on Parts of South America” erschienen zuerst im Jahre 1846.

²⁾ Ueber diese Einflüsse auf das gegenwärtige Klima von Japan siehe: A. WOFKOF, Bemerkungen über die Temperatur der ostasiatischen Inselreihe

Die Westküste von Südamerika verdankt ihr verhältnissmässig kühles Klima jetzt dem Einflusse des kalten Perustromes. Wie im zweiten Abschnitte ausgeführt werden wird, waren in der Tertiärzeit die Hauptbedingungen zu einer grösseren Intensität aller Meeresströmungen und demnach auch dieses Stromes gegeben, und diese vermehrte Intensität konnte seinen wärmeren Ursprung compensiren, so dass das Meerwasser, welches die tertiäre Küste von Chile bespülte, nicht wärmer war als das gegenwärtige ($14\frac{1}{2}^{\circ}$ C.). ¹⁾ Auch das kühlere tertiäre Klima von Alaska ist durch dieselben Ursachen zu erklären, die es auch jetzt noch zu einem relativ kühlen machen, nämlich durch das Vorherrschen von Landwinden. ²⁾

Eine Verschiebung des Pols würde uns übrigens die tertiären arktischen Erscheinungen nicht verständlicher machen. NEUMAYR denkt sich den Pol im Meridian von Ferro um $10-20^{\circ}$ gegen das nordöstliche Asien hin verschoben. Man lasse nun den Pol sich um 10° in der angegebenen Richtung verschieben — dann werden wirklich Grinnell-Land, Grönland und Spitzbergen in günstigere Verhältnisse gebracht, jedoch kämen nun die tertiären Wälder von Neu-Sibirien noch näher an den Pol als jetzt Grinnell-Land liegt; eine grössere Verschiebung ergibt noch unmöglichere

Sachalin, Jesso und Nippon. Zeitschr. f. Meteorologie, Bd. 20. 1885, p. 1—3, und: Die Klimate der Erde. Jena 1887, Bd. 2. p. 365 sqq.

¹⁾ Nach E. SUESS (Das Antlitz der Erde. Bd. 2. Wien, Prag, Leipzig 1888, p. 661) ist es auch noch fraglich, ob der für die betreffende marine Ablagerungen in Chile angewendete Ausdruck tertiär wirklich dem europäischen gleichwertig ist. H. ENGELHARDT (Abhandl. der Naturf. Gesellsch. Isis. Dresden 1890, p. 3, und: Abhandl. der SENCKENBERG. naturf. Gesellsch. Frankfurt a. M. 1891) beschrieb chilenische Tertiärpflanzen — auch von Punta arenas an der Magalhaes-Strasse — welche Charaktere eines feucht-tropischen Klimas aufweisen.

²⁾ W. H. DALL, Alaska Meteorology. Coast Pilot of Alaska. App. I. Washington 1879. — Vergl. auch HANN's Isobarenkarte No. 6 der Abth. Meteorologie in: BERGHAUS' Physikal. Atlas. Gotha 1887.

Resultate, während eine um vieles geringere keinen merklichen Einfluss haben kann. Auch die durch NATHORST ausgesprochene Vermutung, dass der tertiäre Nordpol im 120. Meridian Ö. L. von Greenwich 20° weiter nach Asien hin gelegen war, wird durch die Entdeckungen auf Neu-Sibirien widerlegt. ¹⁾ NEUMAYR selbst muss zugeben, dass, welche Lage der Pol innerhalb des Kreises der tertiären arktischen Flora auch einnehmen möge, die Gegenden, wo üppige tertiäre Wälder bestanden, diesem immer noch viel näher liegen als die jetzige nördlichste Grenze eines verkrüppelten Baumwuchses, und dass in jedem Falle die fossile Flora von Europa viel weiter abweicht in der Richtung eines wärmeren, als die von Japan in der eines kühleren Klimas als das heutige.

Möge nun auch von astronomischer und physikalischer Seite der Annahme einer bedeutenden Verschiebung der Pole kein Hinderniss in den Weg gelegt werden — die Erscheinungen der arktischen Vegetation der Tertiärzeit liefern dennoch genügende Beweise gegen eine solche Annahme. Diese Abweichungen der Erdachse und der Pole können, wenn sie überhaupt vorgekommen sind, nicht von Bedeutung gewesen sein, denn die klimatische Verbreitung der Organismen in denjenigen Perioden, die unserer Untersuchung zugänglich sind, entspricht Zonen, welche die jetzigen Pole concentrisch umgeben. ²⁾

¹⁾ Vgl.: E. VON TOLL in: J. SCHMALHAUSEN, Tertiäre Pflanzen der Insel Neu-Sibirien, l. c. p. 7—9.

²⁾ NEUMAYR selbst nennt es „eine Thatsache von grosser Wichtigkeit,“ dass nach seinen Untersuchungen die Grenzen der homoiozoischen Gürtel in der Jurazeit dem jetzigen Aequator der Erde annähernd parallel verlaufen, so dass „Aequator und Pole ihre Lage seit der jurassischen Zeit nicht beträchtlich geändert haben können“..... „die Resultate, welche hier erzielt worden sind, sprechen entschieden gegen die Annahme, dass seit der Jurazeit Verschiebungen in dieser Richtung stattgefunden haben, gross genug, um beträcht-

Wir dürfen deshalb annehmen, dass von der Zeit der paläozoischen Organismen her bis zum Ende der Tertiärperiode unter den höheren Breiten der nördlichen, sowol wie der südlichen Halbkugel — von temporären, localen Abweichungen abgesehen — wärmere Klimate geherrscht haben, und dass nach den Polen hin der Unterschied vom jetzigen Zustande grösser wurde. Soweit unsere Kenntnisse reichen, sind die Gegenden um den Aequator jedenfalls nur wenig beeinflusst worden und waren (abgesehen von zeitlichen örtlichen Abweichungen vom allgemeinen Plane) bis zum Ende der Tertiärzeit niemals kälter, eher vielleicht etwas wärmer als gegenwärtig.

**Allmähliche tertiäre Abkühlung der Klimate und
pleistocäne Eiszeiten.**

Im Verlaufe der verhältnissmässig kurzen Tertiärperiode ging allmählich eine allgemeine Abkühlung vor sich. Sie fing, offenbar wegen günstigerer Verhältnisse in der Verteilung von Land und Meer, in Europa etwas später an, nahm dann aber einen schnelleren Verlauf, als beispielsweise in Nordamerika. Da jedoch in letzterem Erdteil die oben erwähnten localen Verhältnisse seit dem Beginne der Tertiärperiode relativ geringfügigen Veränderungen unterworfen sind, muss man annehmen, dass hier die allgemeine Ursache der Abkühlung am Unverfälschtesten zur Geltung gekommen ist — und dass, wie man eben hier wahrnimmt, mit dem Ende der Kreidezeit auch wirklich die allgemeine Abkühlung begann, die bis zum Ende der Tertiärzeit fort dauerte. Die während dieser ganzen Periode stattfindende allmähliche Abnahme der Wärme und stetige Annäherung an die heuti-

liche Veränderungen in der Lage der zoogeographischen Zonen hervorzubringen". (Ueber klimatische Zonen während der Jura- und Kreidezeit, I. c., p. 307).

gen klimatischen Verhältnisse finden ihren unzweideutigen Ausdruck in der Veränderung der Organismenwelt, namentlich deren Verbreitung. — Das sind wol allgemein erkannte Thatsachen.

Durch die Annahme einer erst während der Tertiärzeit auf der grösseren Hälfte der Erdoberfläche vor sich gehenden beträchtlichen Abkühlung des, bis dahin von einem homogenen nicht sehr verschiedenen Erdenklimas, wird auch ein sonst ganz dunkler Hauptzug in der paläontologischen Geschichte der Wirbeltiere begreiflich. Erst mit dem Ende des mesozoischen Zeitalters sehen wir nämlich, die keine merkliche Eigenwärme besitzenden und durch ihre Schuppen und Schilder schlecht gegen Temperaturwechsel geschützten Reptilien, die Herrscher jenes langen Zeitalters, rasch den bereits sehr früh in vereinzelt kleinen und niedrigen Formen aufgetretenen, aber erst in der Tertiärperiode, dann aber bald, zu hoher Blüte gelangenden Klassen der Säugetiere und Vögel weichen. Denn diese besitzen in ihrem warmen Blute und ihrer Körperbekleidung, sowie darin, dass die Entwicklung der Eier nicht wie bei jenen, der Aussenwärme wie zu ihrer ganzen Lebensthätigkeit, so bedürftigen Kaltblütern, unmittelbar von der Temperatur des Klimas abhängig ist, unzweifelhafte Anpassungen an ein kälteres und schwankenderes Klima, welche ihnen da leicht zur Herrschaft in der Tierwelt verhelfen mussten. — Der zur Unterhaltung der höheren und constanten Körpertemperatur der homöothermen Tiere notwendige lebhaftere Stoffwechsel war die unmittelbare Veranlassung zur Vervollkommenung der Organe des Blutumlaufes und der Atmung, sowie derjenigen Organe, welche eine schnellere und gründlichere Ausnutzung der Nahrung vermitteln. ¹⁾ In letzterer Beziehung sehen wir das,

¹⁾ Vgl.: R. BAUME, Versuch einer Entwicklungsgeschichte des Gebisses. Leipzig 1882, p. 284. — Säugetiere haben durchschnittlich einen ungefähr

sich während der ganzen mesozoischen Periode nicht über den schon in der Trias ausgebildeten Multitubercular-Typus erhebende Gebiss der Säugetiere, seit Beginn der Tertiärzeit — ausgehend von dem primitiven mesozoischen Tritubercular-Typus — sich in rascher Folge vervollkommen. — Der constant lebhaftere Stoffwechsel ermöglichte auch die regelmässige Erzeugung grösserer äusserer Arbeitsmengen und erleichterte den Aufbau des Körpers, wann und wo in sich der Organismus derer bedurfte. So konnten, in Folge des ursprünglichen Bedürfnisses einer stärkeren Wärmeproduction, die Säugetiere und Vögel zu höheren Leistungen gelangen und vollkommnere Formen erhalten als sie für die poikilothermen Reptilien zu erreichen waren, und lässt sich sogar die hohe Entwicklung des Gehirns in der Klasse der Säugetiere auf jene, während der känozoischen Zeit vor sich gehende Abnahme der Aussenwärme zurückführen. ¹⁾

Das pliocäne Klima war nur noch unbedeutend wärmer als das gegenwärtige, und bei Beginn der Pleistocänzeit war der klimatische Zustand der Erde dem heutigen gleich. Dann erfolgte auf der ganzen Erde eine allgemeine Abkühlung auf eine Temperatur, die niedriger war als die jetzige; in Folge dessen kam es zu einer allgemeinen Depression der Schneegrenze, wodurch aus Skandinavien, Finnland und den russischen Ostseeprovinzen sich gewaltige Gletscher über einen grossen Teil Europas bis nach England, Holland, Mitteldeutschland und weit ins südliche Russland hinein

zehnmal intensiveren Stoffverbrauch als Reptilien und Amphibien bei 20° Lufttemperatur. Bei 1° Lufttemperatur ist er bei den Kaltblütern nahezu Null und erst bei 36° gleich dem der homöothermen Tiere. (Vgl.: L. HERMANN, Lehrbuch der Physiologie. 9. Auflage. Berlin 1889, p. 215 und 212).

¹⁾ LARTET und MARSH haben bekanntlich, eine während der Tertiärperiode allmählich fortschreitende Entwicklung des Säugetiergehirns thatsächlich gefunden.

herabsenkten. Ein derartiger kontinentaler Eismantel bedeckte Nordamerika bis zum 39. Breitengrade (unter dem in Europa Lissabon liegt). Gross-Britannien, die Alpen, die übrigen hohen Gebirge von Mitteleuropa, die Pyrenäen und die Apenninen, der Kaukasus, der Atlas in Nordafrika und (in geringerem Grade) selbst die hohen Berge im trockenen Norden von Asien, auch der Himalaya, das Karakorum- und das Tian-Schengebirge, sowie auf der südlichen Halbkugel Patagonien, die Andes von Chile, vielleicht auch die höheren Gebirge von Südafrika, dann die australischen Alpen und vor Allem auch Neuseeland; ferner die Kerguelen, die Süd-Orkney und die Falkland-Inseln hatten ihre eigenen riesigen Gletschersysteme, die teilweise Ausbreitungen der gegenwärtigen Gletscher waren, sich aber auch auf höheren Bergen fanden, die jetzt kein Eis tragen. Alle diese Gegenden finden wir noch mit vom Eise transportirtem Gesteinsmateriale bedeckt. Auch in grösserer Nähe des Aequators hat man Spuren von pleistocänen Gletschern in der Sierra nevada de Santa Marta (bei 11° N. Br.) und den Andes von Cocui ($4\frac{1}{2}$ — $7\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br.) in Columbia und in der Sierra nevada de Merida (bei 8° N. Br.) in Venezuela gefunden. ¹⁾

Dieses Vorkommen von pleistocänen, glacialen Erscheinungen in der Nähe des Aequators ist einer der besten Beweise dafür, dass die Vereisung auf der nördlichen und südlichen Halbkugel gleichzeitig auftrat, sodass an ihrem allgemeinen Charakter nicht mehr gezweifelt werden darf. ²⁾

¹⁾ W. SIEVERS, Ueber Schotterterrassen, Seen und Eiszeit im nördlichen Südamerika. Geogr. Abhandl. herausgeg. von A. PENCK. Wien 1887. Bd. 2.

A. HETTNER, Reisen in den kolumbianischen Anden. Leipzig 1888. p. 319. Ref. in Petermann's Mittheilungen 1888, Litt. Ber. N^o. 471, mit Karte.— Die Kordillere von Bogotá. Petermann's Mittheilungen. Ergänzungsheft No. 104. 1892, p. 75.

²⁾ Ueber diese Allgemeinheit und Gleichzeitigkeit des glacialen Phänomens

Mit der allgemeinen Depression der Schneegrenze geht eine überall constatirte Ausbreitung der abflusslosen Seen gepaart. ¹⁾

Im Zusammenhange mit der Beobachtung, dass die Feuchtigkeit des Klimas für die Gletscherbildung von noch grösserer Bedeutung ist, als die Kälte, hat man auch behauptet, dass in der Eiszeit die Temperatur nicht nur nicht niedriger, sondern sogar höher gewesen sein kann als jetzt. ²⁾ Abgesehen davon, dass die Meteorologie gegen diese Auffassung wichtige Gründe ins Feld führt, ³⁾ so sind damit auch die paläontologischen Thatsachen der Eiszeit durchaus nicht in Uebereinstimmung. Nicht nur die Schneegrenze, sondern auch die Baumgrenze, die wol allein durch die Temperatur bedingt ist, war herabgedrückt. Die ganze Flora

siehe u. a.: A. PENCK, La période glaciaire dans les Pyrénées. Bull. Soc. d'hist. nat. Toulouse 1885, Vol. 19, p. 107. Vgl. auch dessen übersichtliche Darstellung des ganzen Glacialphänomens nach dem jetzigen Stande unserer Kenntnisse in: Himmel und Erde. 4. Jahrgang 1891, Die grosse Eiszeit, p. 1 und 74.

Ausser den im Texte erwähnten, hat man noch die folgenden pleistocänen Vergletscherungen in den Tropen gefunden, welche ich der Wichtigkeit der Sache wegen hier anführe: in den Andes von Ecuador (El Altar) nahe dem Aequator; im Ilmani und den Andes von Bolivia zwischen 15° und 18½° S. Br.; im Anahuac von Mexico bis zu 17° N. Br. und in den Namulibergen von Ostafrika bei 16° S. Br. Die von AGASSIZ und HARTT behauptete Vergletscherung der Sierra do Mar in Brasilien ist nach J. C. BRANNER (A. R. WALLACE, Darwinism. London. 1890, p. 370. — Vgl. auch: BRÜCKNER, Klimaschwankungen, p. 291) entschieden problematisch. — Vgl. mehrere Arbeiten PENCK'S, besonders auch den neueren Aufsatz in: Himmel und Erde, und Karte 5 der Abth. Geologie in der neuen Auflage von BERGHAUS' Physikalischer Atlas.

¹⁾ E. BRÜCKNER, Klimaschwankungen seit 1700, nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit. Wien 1890, Cap. 10.

²⁾ J. D. WHITNEY, The Climatic Changes of later Geological Times. Mem. of the Museum of Compar. Zoology at Harvard College, Cambridge 1882.

³⁾ A. WOEIFOF, Die Klimate der Erde, Bd. 1, p. 102 sqq.

und Fauna der vergletscherten Gegenden entspricht der eines kühlen Klimas ¹⁾ und ist garnicht zu vergleichen mit der üppigen Lebewelt in Patagonien oder Neuseeland, wo, begünstigt durch das relativ warme, vor Allem aber gleichmässige und feuchte Klima, eine subtropische Vegetation bis zwischen die Gletscher hinein existiren kann. Man hat berechnet wie gross annäherungsweise in der Höhe der bekannten eiszeitlichen Firngrenze der Betrag der Abschmelzung unter der Voraussetzung der heutigen Wärmeverteilung ist und dafür das drei- bis vierfache der Abschmelzung an der heutigen Schneegrenze gefunden. Es müsste also während der Eiszeit drei- bis viermal so viel Niederschlag gegeben haben als jetzt — was wol eine Unmöglichkeit ist. ²⁾ Die ältere Vorstellung, dass damals über Europa arktische Kälte herrschte, hat man längst aufgegeben, jedoch spricht Alles dafür, dass die Temperatur doch um einige Grade niedriger gewesen sein muss, als die gegenwärtige. ³⁾ Aus dem Charakter der Flora und Fauna und aus der Verbreitung des Eises kann man ableiten, dass der Unterschied vom jetzigen Zustande unter mittleren Breiten weniger als 5° C. betragen haben muss. PENCK gelang es, für eine Reihe von Gebirgen die pleistocäne Schneegrenze annäherungs-

¹⁾ Ueber die Verbreitung von arktischen Pflanzen während der Eiszeit handelt ein in jüngster Zeit erschienener Aufsatz A. G. NATHORST'S, Fresh evidendence concerning the Distribution of Arctic Plants during the Glacial Epoch, in: Nature, Vol. 45. 1892, p. 273—276.

Die jetzt aus diluvialen Ablagerungen Mitteleuropas bekannten arktischen Säugetierarten findet man aufgezählt bei: A. NEHRING, Ueber Tundren und Steppen der Jetzt- und Vorzeit. Berlin 1890, p. 167.

²⁾ PENCK, Die grosse Eiszeit, I. c. p. 13.

³⁾ Zu dieser Erkenntniss kam man vor Allem durch die klimatischen Untersuchungen von A. WOELKOF, Ueber die klimatischen Verhältnisse der Eiszeiten sonst und jetzt. Verhandl. der Gesellsch. f. Erdkunde. Berlin 1880. Bd. 7, p. 151 sqq.

weise zu bestimmen; sie lag ungefähr 1000 M. (zwischen 500 und 1300 M.) tiefer als die gegenwärtige, was einer allgemeinen Herabsetzung der Temperatur der Erde um 5° C. entspricht ¹⁾. PENCK hat aber auch berechnet, dass während der Eiszeit dem Ozean eine so bedeutende Wassermenge entzogen war, dass dadurch das mittlere Meeresniveau um rund 100 M. gesenkt war. „Eine allgemeine Temperaturerniedrigung von 4.5° C., und, war das Klima zugleich feuchter als heute, von noch weniger, genügt die gesamte Eiszeit zu erklären.“ ²⁾

Die Fauna der Nordsee besass einen arktischen Charakter. TORELL fand, dass die Seemollusken und Seesäugetiere in den sogenannten Yoldienthonon des Kattegat und der Nordsee auf Temperaturen hinweisen, wie sie jetzt im Karischen Meere vorkommen ³⁾; die Temperatur des Meerwassers in jenem Teile von Europa scheint also zur Zeit der grössten Kälte um $5-10^{\circ}$ C. niedriger gewesen zu sein als die gegenwärtige, was wol natürlich ist, da die gewaltigen Massen des nordischen Inlandeises in dasselbe ausgingen. Aber im Mittelmeere lebten auch viele Formen, die man jetzt in der Nordsee findet. Nach den Organismen zu urteilen, muss, wenigstens im Bereiche des Seeklimas, gegen den Aequator hin der Temperaturunterschied geringer gewesen sein.

Diese auf der ganzen Erde herrschende Kälte hielt jedoch nicht bis zum Beginne unserer Zeit an. In Europa und Nordamerika, wo die glacialen Erscheinungen am Längsten bekannt und am Genauesten untersucht sind, hat man an

¹⁾ PENCK, Die Eiszeit in den Pyrenäen. Mittheilg. d. Ver. f. Erdkunde. Leipzig. 1884, p. 209.

²⁾ PENCK, Die grosse Eiszeit, l.c., p. 77—79.

³⁾ O. TORELL in der Zeitschrift der Deutschen Geol. Ges. 1888. Bd. 40, p. 250 sqq.

vielen Stellen inmitten glacialer Bildungen eine Schicht gefunden, die keine Spur von Eiswirkung zeigt und Reste von Pflanzen und Tieren enthält, welche auf ein Klima hinweisen, das nicht kühler war als das gegenwärtige. Diese interglacialen Bildungen beweisen, dass die Kälte durch eine Periode unterbrochen wurde, während welcher die zu Beginn der Diluvialzeit herrschende Temperatur wiederkehrte, wodurch das Eis abschmolz und eine Flora und Fauna existiren konnte, ähnlich derjenigen der Prä- und Postglacial-(gegenwärtigen) Zeit, und die nur in der Akme der Periode auf grössere Trockenheit hinweist (Steppenperioden).¹⁾ In Europa hat man auch schon eine zweite (früheste) kürzere und weniger deutlich ausgesprochene Interglacialzeit nachgewiesen, die jedoch viel länger gedauert haben muss als die Postglacialzeit, in der wir leben.²⁾ Die geringere Dauer der letztgenannten geht sowolaus der relativen Dicke der Schichten des interglacialen und postglacialen „Verwitterungslehmes“, als auch aus der der interlakustren und postlakustren Ablagerungen in den von RUSSELL und GILBERT durchforschten nordamerikanischen Seebecken der Diluvialzeit hervor. Auch war die vorletzte Glacialzeit länger als die letzte und die älteste war die kürzeste.

¹⁾ Vgl. über Lössbildung: F. VON RICHTHOFEN, China. Bd. 2, p. 348 sqq. und: Ueber die Bildung des Löss. Verhandl. der K. K. Geol. Reichsanstalt in Wien 1878, p. 289—296; ferner: mehrere Arbeiten A. NEHRING's über diluviale Steppenfaunen, besonders seine neuere umfassende: Ueber Tundren und Steppen der Jetzt- und Vorzeit. Berlin 1890.

²⁾ A. PENCK, Zur Vergletscherung der deutschen Alpen. Leopoldina. Bd. 21. Halle 1885, p. 105, 129 und 145. Ferner: E. BRÜCKNER, Die Vergletscherung des Salzachgebietes etc. Geogr. Abhandl. herausg. von A. PENCK, Wien 1886. Bd. 1, p. 133, und: Die Eiszeit in den Alpen. Mitteil. Geogr. Gesellschaft in Hamburg 1887—88, p. 10—23. Auch: Klimaschwankungen. Cap. X.

Das Glacialphänomen besteht demnach aus einer allgemeinen Herabsetzung der Temperatur um bloss wenige Grade, eine Kälte, die vom gegenwärtigen Zustande noch weniger als die Wärme der vortertiären Zeit abwich; es hat sich schon wenigstens zweimal, wahrscheinlich aber schon dreimal wiederholt. In den langen Zwischenpausen, welche diese kalten Perioden von einander trennten, kehrten dieselben klimatischen Verhältnisse zurück, die vor-und nachher bestanden und noch bestehen. Diese Kälteperioden muss man darum als Unterbrechungen des gegenwärtigen Zustandes auffassen, der bereits am Anfange der Pleistocänzeit unmittelbar nach der Tertiärperiode begonnen hatte.

2. Abschnitt.

Veränderungen der Sonnenwärme als Ursachen der Veränderungen der geologischen Klimate.

Beträchtliche Veränderungen der Sonnenstrahlung als Ursachen der geologischen Klimaänderungen. — Die vorausgesetzten Veränderungen der Sonnenstrahlung haben wirklich stattgefunden. — Die Sonnenwärme ist höchst wahrscheinlich nur Verdichtungswärme. Scheinbarer Widerspruch mit geologischen und biologischen Ergebnissen. — Weitere Umstände zu Gunsten der Ansicht, dass die geologischen Klimaänderungen durch die Entwicklungsgeschichte der Sonne zu erklären sind.

In dem Vorhergehenden wurde in allgemeinen Zügen die grossen Veränderungen denen die Wärme an der Erdoberfläche nach den Ergebnissen der Palaeontologie und Geologie unterworfen war, dargelegt. Was kann die Ursache dieser Veränderungen gewesen sein?

Da es nun genügend bewiesen ist, dass tellurische Einflüsse (Eigenwärme der Erde, eine vermutete andere Mischung der atmosphärischen Gase, Veränderungen in der Verteilung von Land und Wasser) ¹⁾, insofern sie wirklich bestanden haben, auf die allgemeine Erwärmung der Erde, seit

¹⁾ Zu oft findet man leider noch den Glauben verbreitet, dass es Zeiten gäbe, in welchen die aus dem Erdinnern emporsteigende Wärme sich in hohem Grade an dem Gedeihen des Lebens auf der Erdoberfläche beteilige, obwol Sir W. THOMSON, jetzt Lord KELVIN, bereits im Jahre 1862 gezeigt hat „that the general climate cannot be sensibly affected by conducted heat at any time more

diese bewohnt ist, niemals merklich eingewirkt haben können; da es ferner bewiesen ist, dass die gleichmässigerer Verteilung der Wärme bis in die Tertiärzeit derart beschaffen war, dass die unter höheren Breiten gelegenen Erdstriche wol begünstigt waren, jedoch nicht zum Nachtheile der aequatorialen Gegenden, so muss die totale, durch die Erde empfangene Wärmemenge grösser gewesen sein als jetzt. Sie muss sogar viel grösser gewesen sein, da doch die Erde als Ganzes von den $6\frac{1}{2}\%$, um die die Sonnenbestrahlung im Januar intensiver ist als im Juli, nicht nur auf keinerlei Art und nirgends merklich beeinflusst wird, sondern sogar im Juli wärmer ist als im Januar. ¹⁾ Von jenem

than 10 000 years after the commencement of superficial solidification." (On the Secular Cooling of the Earth, Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Vol. 23, § 17, abgedruckt in seinen: Mathematical and Physical Papers, Vol. 3. London 1890, p. 305). Jenes Festwerden muss vor mehr als 20 000 000 Jahren begonnen haben (Ibid. p. 300).

Ich kann an diesem Orte darauf verzichten, auf die astronomischen Hypothesen von CROLL, BALL u. A. zur Erklärung der geologischen Klimaschwankungen näher einzugehen. Diese scheinen mir, obgleich sie, besonders in England immer noch viele Anhänger haben, genügend gerichtet (Vgl. namentlich: A. WOEIKOF, Examination of Dr. Croll's Hypotheses of Geological Climates. Amer. Journal of Science. 1886. (3) Vol. 31, p. 161).

Darauf sei jedoch hingewiesen, dass, wie NEUMAYR (Erdgeschichte, II, p. 649) bemerkt, die klimatischen Verhältnisse der Diluvialzeit, von denen jene Erklärungen ausgehen, nur einen verschwindend kleinen Teil der klimatischen Veränderungen bilden, die seit ungezählten Jahrmillionen vor sich gehen. „Es ist daher trotz alles Studiums nicht möglich, sich aus diesem überaus beschränkten Abschnitte ein richtiges Urteil zu bilden. Wir müssen vor Allem die klimatischen Verhältnisse der früheren Perioden kennen zu lernen suchen“ Und gewiss ist weder die Entwicklung der Lebewelt, noch ihre Verbreitung in den früheren Zeitaltern in Einklang zu bringen mit der Voraussetzung von schon damals existirender Winterkälte und von recurrirenden Glacial- und Interglacialzeiten, für deren Annahme auch keine geologischen Ergebnisse sprechen.

¹⁾ R. SPITALER, Die Wärmevertheilung auf der Erdoberfläche. Denkschr. d. Wiener Akademie d. Wissenschaften. Math.-Nat. Klasse. 1886, Bd. 51, p. 1.

grösseren Anteil an der Sonnenstrahlung, der der Erde in ihrem Winterstande zufällt, scheint sie durch ihren dicken, im Bewegungszustande, Dampfgehalte und Bewölkung veränderlichen Luftmantel hin Nichts zu spüren. Die ungleiche Verteilung von Land und Wasser auf der nördlichen und südlichen Halbkugel — ein nach geologischer Erfahrung auf den allgemeinen Wärmezustand so wenig mächtiger Factor ¹⁾ — hat hier auf die allgemeine Erdwärme mehr Einfluss, als die um $\frac{1}{15}$ vermehrte Sonnenstrahlung.

In der geologisch recenten Zeit, seit Eintritt der gegenwärtigen allgemeinen Wärmeverteilung, hat die Erde dann weiter zweimal eine geringere Wärmemenge erhalten als sie jetzt empfängt, und diese Verminderung muss sehr bedeutend gewesen sein, da sie sonst auf die Klimate keinen merklichen Einfluss hätte ausüben können.

Auch ist es jetzt wol mit vollkommener Sicherheit bewiesen, dass ebensowenig wie auf die meteorologischen Zustände der Erde, so auch auf die Klimate jemals eine andere Wärmequelle als die Sonne merklichen Einfluss ausgeübt haben kann. In Veränderungen, und zwar in grossen Veränderungen der Sonnenwärme, müssen wir demnach die Ursache der geologischen Klimaänderungen suchen. — Wird nun aber auch die Verteilung der Wärme über die Erdoberfläche bei bedeutender Zu- oder Abnahme der Sonnenstrahlung so sein, wie sie nach der geographischen Geschichte der Organismen gewesen ist?

Dies muss in der That der Fall sein, wie vor Allem durch die gegenwärtige Wärmeverteilung bewiesen wird. Vergleicht man die Temperaturen, wie sie ZENKER ²⁾ für die verschiedenen Breitengrade nach der Sonnenstrahlung berechnet hat

¹⁾ Unter Anderen durch die schöne Untersuchung von NEUMAYR, Die geographische Verbreitung der Juraformation, I. c. bewiesen.

²⁾ W. ZENKER, Die Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche, Berlin 1888.

mit den von SPITALER ¹⁾ aus der Beobachtung gefundenen (Tabelle XXII bei ZENKER), so bemerkt man eine grosse Wärmeverschiebung in der Richtung vom Aequator gegen den Nordpol. Zwischen 50° und 70° N. Br. besteht ein grosser Ueberschuss an Wärme, dem in den Aequatorialgegenden ein Mangel entspricht; in der Uebergangszone zwischen 10° und 50° N. Br. ist dieser Ueberschuss nur geringfügig. Der Ursprung dieses Wärmeüberschusses muss, wie auch aus den Karten der thermischen Isanomalien von SPITALER zu ersehen ist, ²⁾ in den warmen Meeresströmungen und in den vorherrschenden Winden gesucht werden. Im Atlantischen Ozean, nordwestlich von Norwegen ist die Jahrestemperatur um 12° C. und die Temperatur des Januar sogar um 24° C. höher, als sie theoretisch nach der Breite sein müsste; dieser Einfluss wirkt auch noch sehr beträchtlich ein auf die Temperatur von Spitzbergen und selbst von Grönland und Nowaja Semlja.

Bei Vergleichung der von ZENKER und auch von FORBES und SPITALER ³⁾ berechneten Landtemperaturen am Aequator ergibt sich fernerhin, dass sie sich von den wirklich wahrgenommenen beträchtlich unterscheiden; die letzteren sind um 10 oder mehr Grade niedriger. Dagegen hat das Seeklima des Aequators ungefähr dieselbe oder selbst eine etwas höhere Temperatur, als dasselbe der Berechnung zufolge haben müsste. Daraus folgt, dass der Wärmeüberschuss der höheren Breiten von durch das Festland in den Aequatorialgegenden empfangener Wärme her stammt.

¹⁾ R. SPITALER, Die Wärmevertheilung auf der Erdoberfläche. I. c.

²⁾ Ibid. — Vgl. auch: Petermann's Mittheilungen 1887, Taf. 20, und 1889, Taf. 17 und 18.

³⁾ W. ZENKER, I. c. Tab. XXIII. — J. D. FORBES, Inquiries about terrestrial Temperature. Trans. R. Society of Edinburgh, Vol. 22. — R. SPITALER I. c., u. s. w.

Die südliche Halbkugel ist kühler, als sie nach der Berechnung sein sollte, und dies ist in letzter Instanz wol dem Umstande zuzuschreiben, dass sie fast gänzlich aus See besteht. ¹⁾ Da wir jedoch wissen, dass die nördliche Halbkugel auch in früherer Zeit immer relativ viel Land besessen haben muss, und wir ja die geologischen Klimate hauptsächlich gerade nach den Landorganismen beurteilen, so können wir das von ZENKER für diese Halbkugel in ihrem gegenwärtigen Zustande erhaltene Resultat auf die Verhältnisse in früheren Perioden ruhig anwenden.

Veränderungen der Sonnenstrahlung werden nach ZENKER auf die berechnete (solare) Landtemperatur der Aequatorial-gegenden dreimal so intensiv einwirken, als auf die der mittleren und höheren Breiten, wachsen doch diese solaren Landtemperaturen proportional mit dem Zuwachs der jährlichen Strahlungsmenge. Der Ueberschuss der höheren Breitegrade wird bei vermehrter Sonnenstrahlung dann noch grösser werden und eine breitere Zone umfassen als gegenwärtig, welche ebenso wie jetzt der Wärme zu verdanken wäre, die das Land am Aequator empfängt, und die wegen der verstärkten allgemeinen Circulation der Atmosphäre, wie nachstehend näher ausgeführt wird, dann noch leichter wird weggeführt werden können als jetzt.

Wegen der weiten Ausbreitung der tropischen Zone, deren Oberfläche — 40 % oder $\frac{2}{5}$ des Areals der gesammten Erdoberfläche umfassend — ungefähr ebenso gross ist, wie die der beiden gemässigten Zonen und mehr als viermal so gross, wie beide Polarkappen, sowie der bedeutenden Wärmemenge, die sie empfängt, werden selbst kleine Veränderungen ihrer Temperatur auf die Klimate der höheren Breitegrade grossen Einfluss besitzen.

¹⁾ Man vergleiche vor Allem Kap. 6 und 16 in Band I von WOEIKOF's Klimate der Erde.

Dieser Einfluss wird hauptsächlich ausgeübt durch Vermittelung der Meeresströmungen, welche durch die vorherrschenden Winde bedingt werden (die aber bei der Wärmeverteilung ihrerseits wol auch eine bedeutende directe Rolle spielen); jedoch selbst wenn die Oberfläche des Meeres innerhalb der Tropen viel geringer wäre als die gegenwärtige (75% der ganzen Zone), brauchte dieser Einfluss der aequatorialen Wärme auf die höheren Breiten nicht abzunehmen, weil gerade die Wärme, welche das Festland in der Nähe des Aequators empfängt, den Gegenden höherer Breite zu Gute kommt. Die directe Folge einer Verminderung der Meeresoberfläche am Aequator wäre demnach eine Zunahme des Wärmeüberschusses unter höheren Breiten; dadurch aber, dass das jetzt mehr Wärme abführende Wasser an Menge abnähme, könnte jene Zunahme compensirt werden.

Damit jedoch die erwähnte Wirkung zu Stande komme, war es notwendig, dass zwischen den Meeren unter höheren Breiten und den tropischen Meeren weite Communicationen existirten, und dass diese derartig gebildet waren, dass das Wasser sich darin in den durch die vorherrschenden Winde bestimmten Richtungen bewegen konnte. Nun wissen wir bestimmt, dass in der carbonischen, der Jura-, der Kreide- und in der Tertiärperiode, aus denen wir reiche arktische Floren kennen, zwischen den arktischen und den am Aequator oder in dessen Nähe gelegenen Meeren, weite, sogar viel weitere Communicationen als jetzt, bestanden haben.

Verstärkung der Sonnenstrahlung wird in erster Linie direct die Temperaturen der mittleren und höheren Breiten erhöht haben, und diese directe Temperaturzunahme wird hauptsächlich das Land betroffen haben. Um Vieles beträchtlicher wird jedoch die indirect mit den warmen Meeresströmungen aus den Tropen zugeführte Wärme gewesen

sein, und diese muss hauptsächlich dem Seeklima zu Gute gekommen sein.

Umgekehrt wird Verminderung der Sonnenstrahlung zur Folge gehabt haben, dass unter höheren Breiten die indirecte Abkühlung des Meeres grösser war als die directe, welche letztere hauptsächlich das Land betraf.

Zu einer Zeit, da die Oberfläche der südlichen Halbkugel ebenso wie jetzt, fast ganz aus Wasser bestand, werden auch die Veränderungen in der durch sie empfangenen Wärme zum Teile auf die nördliche Einfluss gehabt haben, wie auch gegenwärtig ein grosser Teil des warmen Wassers der südlichen Halbkugel auf die nördliche hinüberfliesst. Höchstwahrscheinlich war, wenigstens in der pleistocänen Periode, die Verteilung von Land und Wasser der gegenwärtigen gleich, und weil dadurch auch diese Wärmequelle für die nördliche Halbkugel weniger reichlicher floss, muss auch darin eine Ursache zur Abkühlung dieser Halbkugel gelegen haben.

Ein viel wärmeres Meer, das ein schon an sich wärmeres Land bespülte, ein durch das verstärkte allgemeine Windsystem intensiverer Wärmeaustausch in der Richtung der Meridiane; das war demnach in höheren Breiten der klimatische Zustand unter der Herrschaft einer wärmeren Sonne — eine kühle See, und nun gewiss noch besonders kühler auf der nördlichen Halbkugel, neben einem wenig kühleren Lande, ist der den eine weniger heisse Sonne hervorbringt. Einen derartigen Zustand, wobei die Meere noch kühler sind als das Land, finden wir heute in Patagonien und Neuseeland, wo die Vereisung gegenwärtig beträchtlicher ist, als irgendwo sonst in mittleren Breiten. Für die Vereisung ist dieser Zustand am Günstigsten, und mit J. D. FORBES und WOEIKOF ¹⁾ kann man als unzweifelhaft annehmen,

¹⁾ WOEIKOF, Die Klimate der Erde. I, p. 104.

dass bei einer beträchtlichen Abkühlung der Meere zwischen 40° und 60° N. Br. viele Gebirge in Europa und an der Westseite Nordamerikas Gletscher bekamen, und dass die bestehenden Gletscher wachsen würden.

In den Tropen war es bei der grossen Feuchtigkeit, die dort auch in der pleistocänen Zeit geherrscht haben muss, sehr gut möglich, dass bereits kleine Abnahmen der Landtemperatur, wie sie wahrscheinlich vorgekommen sind, die gegenwärtigen Gletscher ansehnlich ausbreiteten und neue schufen.

Man hat jetzt allen Grund anzunehmen, dass wirklich unter der Herrschaft einer wärmeren oder weniger warmen Sonne die Meeresströmungen, welche auf die Verteilung der Wärme auf der Erdoberfläche ¹⁾ einen so grossen Einfluss ausüben können, und die vorherrschenden Winde, welche die Ursache der Meeresströmungen sind und sehr wahrscheinlich auch einen starken directen Einfluss ausüben, ²⁾ im Allgemeinen dieselbe Richtung gehabt haben wie jetzt, und dass auch die Kraft dieser Winde bei beträchtlichen Veränderungen der von der Sonne ausgestrahlten Wärme sich bedeutend verändert. Immer mehr dringt in der letzten Zeit bei den Meteorologen die Ueberzeugung durch, dass in der Erdatmosphäre zwischen dem Aequator und den Polen ein grosses Circulationssystem besteht, dem die vorherrschenden Winde angehören. Vor Allem nach den schönen Untersuchungen von FERREL und WERNER SIEMENS (die von ganz verschiedenen Anschauungen ausgehend zu den-

¹⁾ Lesenswert sind in dieser Hinsicht noch immer die Werke von CROLL, hauptsächlich: *Climate and Time in their Geological Relations*. London 1875; auch sein früherer Aufsatz: *On Ocean Currents in Relation to the Distribution of Heat over the Globe*. *Philosoph. Magazine* 1870, sowie mehrere Aufsätze im *American Journal of Science and Arts*.

²⁾ S. nachstehend p. 48, Anmerkung 2.

selben Hauptresultaten gelangten), ¹⁾ sowie den Luftdruck- und Temperaturwahrnehmungen in Hochstationen und ihrer Interpretation durch HANN, weiss man, dass es in der Atmosphäre eine allgemeine Circulation giebt, die abhängt von der aufsteigenden und dann polwärts gerichteten Kraft der erwärmten Luft am Aequator (SIEMENS) oder vom constanten Unterschiede der Temperatur an den Polen und am Aequator, d. i. dem thermischen Gradient (FERREL). Dieses allgemeine Windsystem besteht an der Erdoberfläche aus zwei grossen Wirbeln, die sich nach dem Gesetze von BUYS-BALLOT bewegen, und einer aequatorialen Windzone in entgegengesetzter Richtung. Jenes erzeugt nämlich an der Oberfläche der Erde in mittleren und höheren Breiten, vom 35. Breitengrade an, auf der nördlichen Halbkugel südwestliche und auf der südlichen nordwestliche Winde (westliche Winde), während in der Nähe des Aequators diese Winde auf der nördlichen Halbkugel nordöstlich und auf der südlichen südöstlich sind (Passate). Am 35. Breitengrade Kalmengürtel der ROSSbreiten) entsteht eine Erhöhung des Luftdruckes durch die „centrifugal force“ (FERREL), oder durch Stauung des polwärts gerichteten Oberstromes in Folge der Verengerung des Strombettes (SIEMENS). Nach SIEMENS — und seine theoretische Untersuchung hat durch HANN ²⁾ inductive Bestätigung erhalten — verdanken auch

¹⁾ W. FERREL verkündete die Lehre von der allgemeinen Circulation schon im Jahre 1860. Mehr innerhalb Jedermanns Bereich aber, als seine früheren Publicationen liegt sein: *A Popular Treatise on the Winds*. London 1890.

WERNER SIEMENS, Ueber die Erhaltung der Kraft im Luftmeere der Erde. Sitzungsber. d. K. Pr. Akad. d. Wissenschaften. Berlin 1886, Bd. 13.

²⁾ Siehe vor Allem die jüngsten hierauf bezüglichen Schriften dieses grossen Meteorologen: J. HANN, Das Luftdruck-Maximum von November 1889 in Mitteleuropa, nebst Bemerkungen über Barometer-Maxima im Allgemeinen. Denksch Math.-Nat. Kl. der K. Akad. d. Wiss. Wien 1890. Bd. 57, p. 401—424, und

die Cyclonen ihren Ursprung dieser allgemeinen Circulation; der durch Stauung auf seinem Wege zum Pole immer mehr zurückgehaltene, und durch die Rotation der Erde immer mehr nach Osten abgeleitete Strom zieht durch innere Reibung die untersten Luftschichten mit sich, wodurch es zur Bildung localer Minima kommt.

Diese ganze Circulation der Atmosphäre wird kräftiger werden, wenn der Unterschied der Erwärmung des Aequators und der Pole zunimmt (wie es bei Verstärkung der Sonnenstrahlung der Fall ist), und sie wird schwächer werden, wenn dieser Unterschied abnimmt (also bei jeder Verminderung der Sonnenstrahlung); auch wird im ersten Falle in der Windrichtung der meridiane (von der Erwärmung abhängige) und im zweiten Falle der parallele Component (der Erdrotation) überwiegen müssen. Zu einer Zeit, während welcher die Erde mehr Wärme empfängt, werden die genannten Winde an der Polseite der 35. Breitengrade demnach nicht nur kräftiger werden, sondern auch mehr polwärts gerichtet sein, während bei geringerer Erwärmung der Erde die Richtung noch östlicher sein wird, als unter den jetzigen Verhältnissen. Fernerhin werden die Meeresströmungen, die ihr Entstehen diesem allgemeinen Windsysteme verdanken, was ihre Grösse, Geschwindigkeit und Richtung betrifft, in der Hauptsache den erwähnten Veränderungen folgen, und im ersten Falle viel mehr, im letzteren viel weniger Wärme vom Aequator zu den Polen führen als gegenwärtig. Da die Hauptrichtungen der Ozeane während der Diluvialzeit den jetzigen wol ganz gleich waren, müssen im letztgenannten Falle — mit östlicher gerichteten Winden

Studien über die Bedingungen von Luftdruck und Temperatur auf der Spitze des Sonnblick, nebst Bemerkungen über ihre Wichtigkeit für die Theorie der Cyclonen und Anticyclonen. Ibid. 1891, Bd. 58.

— die Kontinente also auch zugleich feuchter gewesen sein (Eiszeiten), während sie in Perioden mässig intensiverer Sonnenstrahlung und mehr nördlich gerichteten Winden trockener wurden (interglaciale Steppenperioden). Bei starker Zunahme der Strahlungsintensität jedoch wird die erwähnte Folge der mehr meridianen Richtung der vorherrschenden Winde ihrer grösseren Zunahme an Kraft und Wasserdampfgehalt wol nicht das Gleichgewicht zu halten vermögen. ¹⁾

Der Einfluss der Verschwachung der Meeresströmungen (und der vorherrschenden Winde) während der Eiszeit ist thatsächlich daraus ersichtlich, dass während der Eiszeit Westeuropa den klimatischen Vorteil, den es gegenwärtig vor der Ostküste Nordamerikas geniesst, verlor. Die britischen Meere wurden verhältnissmässig viel mehr abgekühlt. ²⁾

Auch sieht man, dass im Winter, wenn der Temperaturunterschied zwischen dem Aequator und dem Pole der betreffenden Hemisphäre viel grösser ist als im Sommer, das System der Westwinde kräftiger wird und unter niedrigerer Breite beginnt. Diese kurzdauernde Verstärkung der vorherrschenden Winde kann auf die Meeresströmungen keinen bemerkenswerten Einfluss ausüben, da diese eine Folge der Summation der Arbeit sind, welche die Winde seit Jahrhunderten verrichtet haben; das Bewegungsmoment der Winde ist viel geringer, als das der Meeresströmungen, ³⁾

¹⁾ Wo nicht, wie dies für Europa während der Eocänzeit der Fall gewesen zu sein scheint (nach DE SAPORTA war die Flora des europäischen Eocän die eines heissen, trocknen Landes mit wenig ergiebigem Regenfall), überwiegende anders wirkende, örtliche Einflüsse vorlagen.

²⁾ J. W. DAWSON, *The Story of the Earth and Man*, 10th Edition, 1890, p. 273.

³⁾ G. VON BOGUSLAWSKI und O. KRÜMMEL, *Handbuch der Oceanographie*. Stuttgart 1887, Bd. II, p. 351. Das Verhältniss zwischen den Bewegungsmomenten der Luft- und der Meeresströmungen wird von KRÜMMEL gleichgesetzt 1: 123.

ihr augenblicklicher Effect ist darum unmerkbar klein; der stationäre Bewegungszustand des Meeres, welcher der mittleren Geschwindigkeit der Winde entspricht, ist nun einmal erreicht, und diese haben nur noch den geringen Bewegungsverlust durch Reibung zu ersetzen, wozu ihr Bewegungsmoment gewiss hinreicht. ¹⁾ Deshalb kann diese verstärkte Circulation der Luft, während des Winters einer Halbkugel, nicht merkbar zu deren Erwärmung beitragen, denn wegen der geringen specifischen Wärme der Luft, im Vergleiche zu der des Bodens und des Wassers, wird sie auf ihrem langen Wege vom Aequator her die Gegenden mittlerer Breite bereits ganz abgekühlt erreichen, und um durch ihre in Wärme umgesetzte lebendige Kraft einen bedeutenden Einfluss auszuüben, dazu ist diese winterliche Verstärkung der Luftbewegung doch nicht bedeutend genug.

Dieser directe Einfluss der Winde auf die Ausgleichung der Temperaturunterschiede zwischen dem Aequator und den Polen wird zur Zeit einer kräftigeren Circulation gewiss grösser gewesen sein, ²⁾ wird aber auch damals wol eine weniger bedeutende Rolle gespielt haben, als die Meeresströmungen mit ihrer soviel grösseren Wärmecapacität.

Mehr werden diese Winde jedenfalls, wie sie das auch jetzt thun, zur Ausgleichung der Verteilung der Wärme über kleinere Entfernungen, zwischen benachbarten Meeren und Ländern, beigetragen haben.

¹⁾ Ibid. p. 350, Ausspruch von HANN.

²⁾ H. VON HELMHOLTZ (Ueber atmosphärische Bewegungen. Sitzungsber. der K. Pr. Akad. d. Wiss. Berlin 1888, und: Meteor. Zeitschr. 1888, Bd. 5, p. 329—340) hat gezeigt, dass bei den Verschiebungen der Luftmassen vom Aequator aus in nördlicher und südlicher Richtung, in der Atmosphäre ungeheuer viel lebendige Kraft verbraucht wird, die sich in Wärme umsetzt. Bei bedeutender Verstärkung der allgemeinen Circulation kann dieser directe Einfluss demnach nicht gering gewesen sein.

Dass Veränderungen der Sonnenstrahlung, obgleich ihr unmittelbarer Effect nahe am Aequator nach ZENKER ein dreifach so starker ist, als in den gemässigten und polaren Zonen, dennoch in Wirklichkeit nicht an erster Stelle auf die Temperatur am Aequator, wol aber auf die allgemeine Circulation der Atmosphäre Einfluss ausüben, geht auch hervor aus dem Zusammenhange, den man zwischen der elfjährigen Periode der Sonnenflecken und meteorologischen Erscheinungen wahrgenommen hat. Denn während zur Zeit der Maxima von Sonnenflecken die Sonnenstrahlung gewiss am Ansehnlichsten ist, was ausser aus spectroscopischen Beobachtungen ¹⁾ auch daraus hervorgeht, dass 1. in den Tropen (südöstliches Asien) zur Zeit von Fleckenmaxima der Luftdruck ab- und in höheren Breiten (Westsibirien und Russland im Winter) zunimmt (H. F. BLANFORD) — offenbar in Folge der Zunahme des Erwärmungsunterschiedes zwischen dem Aequator und den Polen — was in höheren Luftschichten gepaart gehen muss mit Vermehrung des Uebergewichtes des Luftdruckes am Aequator und demzufolge mit Verstärkung des allgemeinen Windsystems, ²⁾ dass 2. in den Tropen Cyclonen am Häufigsten vorkommen während der

¹⁾ Die mit Fackeln bedeckte Oberfläche der Photosphäre, welche eine deutliche Verstärkung des continuirlichen Theiles des Spectrums aufweist, ist viel grösser als die parallel mit ihr zu- und abnehmende der Sonnenflecken, welche nach ihrem Spectrum und nach directen Messungen weniger Wärme ausstrahlen als die gewöhnliche Photosphäre. Auch scheint das Spectrum eines Sonnenfleckes aus der Zeit eines Minimums eine niedrigere Temperatur anzudeuten als in einer der Maximumperiode (S. J. PERRY and A. L. CORTIE, Monthly Notices, 49, 1889, p. 410).

²⁾ Auch fand BRÜCKNER für die, nach ihm wahrscheinlich gleichfalls durch Oscillationen der Intensität der Sonnenstrahlung verursachte 35-jährige Periode der Klimaschwankungen, dass in den warmen Perioden der Luftdruckunterschied zwischen dem Aequator und den subpolaren Breiten zunimmt und umgekehrt während der kühlen Perioden abnimmt.

Maxima von Sonnenflecken, und umgekehrt (C. MELDRUM, A. POEY), und dass 3. während der Perioden von Fleckenmaxima auch der Regenfall am Grössten zu sein scheint, was auf vermehrte Verdampfung und verstärkte Bewegung in der Atmosphäre hinweist, ist die Lufttemperatur nahe am Aequator im Mittel gerade dann am Niedrigsten und umgekehrt am Höchsten in den Perioden von Fleckenminima (W. KÖPPEN, H. F. BLANFORD).

Alles lässt uns annehmen, dass die Atmosphäre ein höchst wirksamer Regulator der Wärmeverteilung auf der Erdoberfläche ist, und dass ihre Wirksamkeit mit der Menge der von der Sonne empfangenen Wärme zu- und abnimmt. Da Veränderungen der empfangenen Wärme direct in den Tropen soviel mehr Wirkung ausüben können als in der Nähe der Pole, und demzufolge immer gepaart gehen müssen mit bedeutender Verstärkung oder Abschwächung der allgemeinen Circulation der Atmosphäre, so werden sie auf die wirkliche Lufttemperatur nahe am Aequator nur geringen Einfluss haben, dagegen indirect sehr grossen auf die Temperatur der höheren Breiten.

**Die vorausgesetzten Veränderungen der Sonnenstrahlung
haben wirklich stattgefunden.**

Bedeutende Veränderungen der Sonnenwärme müssen demnach wol im Stande sein, die wahrgenommenen klimatischen Veränderungen zu erklären. Haben jene nun wirklich stattgefunden?

Dies ist in der That der Fall, und durch sie können wir die bekannten Hapterscheinungen der geologischen Klimate auf befriedigende Weise erklären.

Schon wiederholt hat man beiläufig darauf hingewiesen, dass die fortwährend an Energie verlierende Sonne einmal wärmer gewesen sein muss als sie jetzt ist, und so vielleicht

die grosse Hitze der ersten geologischen Zeiten verursacht haben kann. ¹⁾ Diese Bemerkung ist im allgemeinen Sinne gewiss vollkommen richtig; eine allmähliche Abkühlung, während der ganzen geologischen Zeit, nimmt man jedoch an den Klimaten der Vorzeit nicht wahr. Wir sehen, dass während der langen Jura- und Kreideperiode die allgemeinen Wärmeverhältnisse der Erde keinen merklichen Veränderungen unterworfen waren, und man nimmt jetzt an, dass bereits während der palaeozoischen Zeit die Temperatur in mittleren Breiten wenig höher gewesen sein kann, als während der späteren Kreideperiode. Dagegen muss während der relativ kurzen Tertiärperiode die allgemeine Abkühlung sehr schnell vor sich gegangen sein.

Soweit mir bekannt ist, wurde der Versuch noch nicht unternommen, die Geschichte der Sonne, wie sie nach der gegenwärtig wol allgemein angenommenen und sich überall so glänzend bewährenden KANT-LAPLACE'schen Theorie sein muss, mehr im Einzelnen mit der Geschichte der geologischen Klimate in Einklang zu bringen. Nach dem heutigen Stande der Wissenschaft scheinen mir diese letzteren in der Geschichte der Sonnenenergie eine befriedigende Erklärung zu finden.

Die Sonne ist ein Stern, den Tausenden von Sternen gleich, die wir am Abend als leuchtende Punkte am Himmelsgewölbe auftauchen sehen; bei relativ kleinen Dimensionen, unterscheidet sie sich von den übrigen lediglich durch ihre

¹⁾ Sir W. THOMSON, Transact. Geol. Soc. of Glasgow. Vol. 5, p. 238.

F. PFAFF, Allgemeine Geologie als exacte Wissenschaft. Leipzig 1873, p. 38—39.

J. D. DANA, Manual of Geology. Third Edition. New-York and Chicago 1879, p. 716.

A. GEIKIE, Text-Book of Geology. Second Edition. London 1885, p. 19 und 21.

geringe Entfernung von der Erde. Die Stoffe, aus denen sie besteht, sind ganz dieselben wie die Bestandteile vieler Sterne. Das Spectrum der gelben Sterne, die zu der zweiten Classe nach VOGEL gehören, stimmt völlig mit dem der Sonne überein, und man kann deshalb mit Sicherheit sagen, dass die Sonne ein gelber Stern ist, und dass die übrigen gelben Sterne nicht nur die gleiche Zusammensetzung, sondern auch eine ungefähr ebenso dichte und heisse Atmosphäre besitzen, wie unsere Sonne. ¹⁾ Aus der Farbe und dem Spectrum der Sterne lernen wir ihre Zusammensetzung und auch ihre Temperatur kennen. ²⁾ Sobald bei einer gewissen Temperatur ein Körper zu glühen beginnt, erscheinen die leuchtenden und „chemischen“ Strahlen. Je höher die Hitze steigt, um so reicher wird das Spectrum an blauen und violetten Strahlen, je mehr jene aber abnimmt, umsomehr überwiegen die weniger brechbaren gelben und roten Strahlen. Ein Stern, dessen Spectrum sehr reich ist an violetten Strahlen, wird demnach, wenigstens in seinen äusseren Teilen, eine sehr hohe Temperatur besitzen. Die Anzahl der zu dieser Classe gehörenden Sterne, die am Glänzendsten durch Sirius, den schönsten von Allen, am Typischsten aber durch Regulus vertreten wird, ist sehr gross. Mehr als die Hälfte, 58.5% aller bekannten Sterne gehört zur ersten Classe der weissen (eigentlich bläulich-weissen) Sterne. Sie besitzen eine dichte, heisse Atmosphäre von Wasserstoff, wie an den vier charakteristischen breiten Linien ihres Spectrums zu gewahren ist; daneben beobachtet man bei vielen Sternen dieser Classe eine Anzahl fast

¹⁾ A. SECCHI, Die Sterne, Grundzüge der Astronomie der Fixsterne. Leipzig 1878, p. 109.

²⁾ J. JANSSEN, L'âge des étoiles. Ciel et Terre. 2^e Série. 3^e Année. 1887—1888, p. 465 sqq.

unmerkbar feiner Linien, welche Spuren von Metalldämpfen (hauptsächlich Eisen) andeuten.

Die Sterne der zweiten Classe, der auch unsere Sonne angehört, die zusammen mit Capella den Typus dieser Classe repräsentirt, besitzen nicht mehr jene glänzend weisse Farbe, sondern sind gelblich, einige sogar orange. Daraus leiten wir ab, dass sie weniger warm sind. Anstatt einer mächtigen Atmosphäre von Wasserstoff zeigt uns hier das Spectroskop durch sehr zahlreiche, feine Linien dieselben Metalldämpfe, die wir an unserer Sonne wahrnehmen. Wasserstofflinien sind wol vorhanden, doch sind sie sehr fein und keineswegs so deutlich wie bei den weissen Sternen. Auch diese zweite Classe ist noch zahlreich vertreten; zu ihr gehören 33.5 % aller sichtbaren Sterne.

Andere Sterne befinden sich in einem noch weiter vorgeschrittenen Entwicklungsstadium. Hier verrät das Spectrum auf unzweideutige Weise eine bereits weitgediehene Abkühlung. Das Violett fehlt darin ganz; breite, dunkle Bänder oder Säulen bedecken ähnliche, doch stärker und zahlreicher auftretende Linien, wie wir sie bei der zweiten Classe finden, und dienen als Kennzeichen dafür, dass die Elemente in ihrer Atmosphäre bereits beginnen sich zu chemischen Verbindungen zu vereinigen. Sie bilden die dritte Classe, die der roten Sterne, — Typus Beteigeuze —, wozu ungefähr 8 % sämmtlicher Sterne gehören.¹⁾

¹⁾ Diese, die Verteilung der Sterne über die einzelnen Spectralclassen angehenden Relativzahlen sind nach der Potsdamer spectrokopischen Durchmusterung (Public. d. Astrophys. Observat zu Potsdam, Bd. III. Vgl. J. SCHEINER, Die Spectralanalyse der Gestirne, Leipzig 1890, p. 325) berechnet. — E. C. PICKERING (Preparation and Discussion of the Draper Catalogue. Annals of the Astronomical Observatory of Harvard College, Vol. 26, Part I. 1891) ist unlängst auf photographischem Wege zu anderen Resultaten gelangt. Er findet (p. 151), dass die drei Typen der Sternenspectra verteilt sind im Verhältnisse

Den Uebergang zwischen der ersten und zweiten Classe bilden verhältnissmässig wenige Sterne; relativ viel zahlreicher sind diejenigen, welche Farbe und Spectrum halber zwischen die zweite und dritte Classe eingereiht werden müssen und demnach den Uebergang vom zweiten zum dritten Stadium darstellen.

Ausser den aufgezählten Classen, von denen man annehmen muss, dass sie sich in der angegebenen Reihenfolge aus einander entwickelt haben (und den wenig zahlreichen Sternen, welche sich nicht in diese drei Classen einfügen lassen), kennt man, als erstes Stadium in der Entwicklung der leuchtenden Himmelskörper, die Nebelflecke, sehr dünne und ausgedehnte Gasmassen, die nach der heute geltenden Hypothese aus auf einander gestürzten dunklen Himmelskörpern entstanden sind; in ihnen hat man mit Sicherheit nur das Vorhandensein von Wasserstoff nachweisen können. Diese Classe ist so wenig zahlreich, dass sie weniger Tausende umfasst, als die der Sterne Millionen.

der Zahlen 75, 23 und 1. — Die photographische Platte ist bei dieser Classification jedoch viel einseitiger als das Auge, das gerade für die Strahlen der der Mittelclasse angehörigen Sterne am Empfindlichsten ist. Schwache Sterne der dritten Classe sind demzufolge photographisch niemals von denen der zweiten Classe zu unterscheiden (l. c. p. 178), ebensowenig helle Sterne von weniger reinem Typus, wie α Tauri und α Orionis, und für alle weniger hellen Sterne ist die Classification schwierig (O. c. Vol. 27, Preface). Die Classification nach directen Augenwahrnehmungen wird demnach das wirkliche Verhältniss gewiss richtiger wiedergeben.

Denkt man daran, welche Einseitigkeit sich die (hauptsächlich bloss für Strahlen der violetten Seite des Spectrums empfindliche) photographische Platte bei der Anordnung der Spectraltypen zu Schulden kommen lässt, dann erscheint es nicht befremdend, dass, wie KAPTEYN fand (Verslag van de zitting der Kon. Akademie van Wetenschappen te Amsterdam vom 29. April 1892) die Anzahl der Sterne des ersten Typus — nach PICKERING's photographischer Durchmusterung — relativ zur Zahl der des zweiten Typus im Verhältnisse der Entfernung von uns zunimmt.

Diese Welt, die wir gewohnt sind „das Weltall“ zu nennen, hat nicht von Ewigkeit her bestanden, sondern muss einen Anfang gehabt haben, sonst müssten, wie FICK ¹⁾ und SECCHI ²⁾ bemerken, die Naturkräfte einen Gleichgewichtszustand erreicht haben, und es wäre somit die Natur unserer Wahrnehmung entzogen. Die Welt, die wir kennen, ist jedoch nicht unendlich gross. Wäre sie das, sagt SECCHI, ³⁾ mit OLBERS und CHÉSAUZ, dann müsste uns das Himmelsgewölbe in seiner ganzen Ausdehnung leuchtend wie die Sonne erscheinen, und da dies nicht der Fall ist, sind wir zu der Annahme gezwungen, dass die Zahl der Sterne nicht unendlich gross sein kann. SECCHI giebt jedoch zu, dass es im Weltenraume zweifellos viele dunkle Körper giebt, die das Licht auffangen können, jedoch wegen des grossen Abstandes der leuchtenden wie der dunklen Körper, wären diese letzteren, wie der Staub in unserer Atmosphäre, wol im Stande, das Licht abzuschwächen, nicht aber, es vollständig zu absorbiren. Sind jedoch die dunklen Teile sehr zahlreich, — wie es wirklich der Fall sein muss — dann kann, meiner Ansicht nach, diese Abschwächung des allgemeinen Lichtes wol so bedeutend sein, dass der ganze Hintergrund des Himmelsgewölbes nur mehr sehr spärlich beleuchtet ist und einen dunklen Schirm bildet, an dem nur die näher gelegenen Sterne als leuchtende Punkte erglänzen. Auch der augenscheinlich regelmässige Bau der gesammten Sternenwelt beweist noch nicht mit Sicherheit, dass sie begrenzt ist. Sie kann ebensogut eine unendliche Ausdehnung besitzen, als bloss einen beschränkten Teil des Raumes

¹⁾ A. FICK, Die Naturkräfte in ihrer Wechselwirkung. Würzburg 1869, p. 70.

²⁾ A. SECCHI in einem am 6 März 1876 in Rom gehaltenen Vortrage über die Grösse der Schöpfung in Raum und Zeit.

³⁾ A. SECCHI, Die Sterne, p. 331.

einnehmen. Fest steht jedoch, dass unsere Wahrnehmung sich in keinem Falle bis in den unendlichen Raum erstreckt, so dass wir durchaus nicht das Recht haben, aus der Nothwendigkeit eines Anfanges der uns bekannten Welt auf eine wahre Schöpfung, auf ein Entstehen aus dem Nichts zu schliessen. (!)

Jedenfalls ist es höchst wahrscheinlich, dass unsere Welt, selbst im Vergleiche mit der Dauer des längsten Sternens, ungeheuer lange Zeit besteht und dass der oben skizzirte Entwicklungsgang der Himmelskörper sich in ihr schon unzählige Male wiederholt hat. Da ferner die Anzahl der Sterne sehr gross ist, ihre Massen nach dem Zufalle verteilt sein müssen, und wir annehmen können, dass diese Entwicklung der überall aus denselben Stoffen bestehenden und von denselben Kräften beherrschten Himmelskörper stets, wie die Spectralanalyse auch thatsächlich lehrt, genau auf dieselbe Weise — sehr wahrscheinlich in der Hauptsache nach der LAPLACE'schen Nebeltheorie — vor sich gehen muss, so sind wir im Stande nach dem beobachteten Verhältnisse der Anzahl Sterne der verschiedenen Classen, bei welcher Bestimmung wir durch das Spectroskop vom subjectiven Farbensinne und der relativen Leuchtkraft ganz unabhängig sind, die Dauer der Stadien, welche diese Typen darstellen, ziemlich genau abzuschätzen. So können wir mit ziemlicher Sicherheit die Dauer des weissen Stadiums auf 58.5 %, die des gelben auf 33.5 % und die des roten auf 8 % der mittleren, ganzen, leuchtenden Existenz eines Sternes schätzen; das Nebelstadium muss von so geringer Dauer (weniger als 0.1 % der ganzen Entwicklungszeit) sein, dass es bei dieser Schätzung vernachlässigt werden kann. Auch die im Uebergangszustande zwischen den einzelnen Stadien befindlichen Sterne mögen hier, wegen ihrer relativ geringen Zahl, unberücksichtigt bleiben.

In Folge der grossen Gleichförmigkeit in der Entwicklung und in der Zusammensetzung jeder Classe ¹⁾ können wir getrost die mittleren Verhältnisse, wie wir sie für die verschiedenen Stadien des Sternenlebens gefunden haben, auch auf unsere Sonne anwenden. Die Sonne muss die längste Zeit ihres Daseins im weissen Stadium zugebracht haben, und, da sie sich jetzt im gelben befindet, wenigstens schon 58.5 % oder ungefähr $\frac{3}{5}$ ihres ganzen Sternenlebens hinter sich haben. In welchem Zeitpunkte des gelben Stadiums sie sich jetzt befindet, ist astronomisch und physikalisch mit einiger Genauigkeit nicht zu bestimmen. Hier helfen uns jedoch die Ergebnisse der Palaeontologie. ²⁾

Während der längsten Zeit des Daseins von Organismen auf der Erde, soweit wir dasselbe kennen, muss diese mehr, ja sogar viel mehr Wärme empfangen haben als sie jetzt empfängt. Die Sonne muss damals mit ungleich grösserer Kraft geschienen haben, um so viel grösser, dass sie sich wol in einem ganz anderen Zustande befunden haben muss. Da nun die Geschichte der Sonne lehrt, dass sie während der längsten Zeit ihrer Existenz, als sie sich im

¹⁾ Einen höchst wichtigen Beweis für diese ausserordentliche Gleichförmigkeit, welche sich auch auf die Dichtigkeits- und Temperaturverhältnisse erstreckt, liefert J. SCHEINER (Die Spectralanalyse der Gestirne, p. 280—287).

Wegen anderer als der hier vorgetragenen, auf dem Boden der so mannigfach bestätigten KANT-LAPLACE'schen Nebeltheorie fussenden Auffassungen betreffs der Entwicklung der Sterne — wie sie von J. NORMAN LOCKYER (The Meteoritic Hypothesis. London 1890) und auch von E. W. MAUNDER (Journ. Brit. Astron. Soc. Oct. 1891) ausgesprochen wurden — verweise ich auf SCHEINER (Op. cit., p. 330—331).

²⁾ Die spectroscopische Untersuchung zeigt wol, dass die Sonne, ebenso wie die mit ihr vollkommen übereinstimmende α Aurigae (Capella) und viele andere gelbe Sterne, noch zu den jugendlichen gelben Sternen gehört, die sich durch einige Uebergangsterne, wie Procyon, unmittelbar an das weisse Stadium anschliessen.

Zustande eines weissen Sternes befand, viel wärmer war, dass sie hierauf verhältnissmässig rasch vom weissen zum gelben Stadium übergang und seither viel weniger warm ist, während wir andererseits sehen, dass die von der Erde empfangene Wärme denselben Veränderungen unterworfen war, nämlich nach lange andauernder Wärme einer verhältnissmässig raschen Abkühlung bis zur endlichen Erreichung des gegenwärtigen Zustandes, so dürfen wir annehmen, dass die Zeit der Abkühlung der Klimate dem Uebergange vom weissen zum gelben Stadium, der Zeit der starken Abkühlung der Sonne entspricht. Der gegenwärtige thermische Zustand an der Erdoberfläche hat sich in der Tertiärzeit entwickelt, und wurde vollständig erreicht zu Beginn der Pleistocänperiode, einem geologisch jedenfalls so recenten Zeitpunkte, dass die seither verflossene Zeit vielleicht bloss auf ein Fünfzigstel der seit Beginn des palaeozoischen Zeitalters vergangenen geschätzt werden kann. Wir dürfen deshalb des Weiteren annehmen, dass unsere Sonne erst vor verhältnissmässig kurzer Zeit in ihr gelbes Stadium eingetreten ist und können, ohne einen grossen Fehler zu begehen, sagen, dass sie gegenwärtig $\frac{3}{5}$ ihres Lebens als leuchtender und erwärmender Stern hinter sich und noch $\frac{2}{5}$ vor sich hat.

Nach dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft schöpft die Sonne, wie HELMHOLTZ zuerst gezeigt hat, seit der Zeit des Nebels, aus dem sie nach der KANT-LAPLACE'schen Theorie entstanden ist, fast ihre gesammte Energie aus der Zusammenziehung ihres gasförmigen Körpers. ¹⁾ HELM-

¹⁾ H. VON HELMHOLTZ, Vorträge und Reden. Bd. I. Braunschweig 1884, p. 25: Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte, Vortrag gehalten im Jahre 1854, Ibid. Bd. II, p. 57: Ueber die Entstehung des Planetensystems, Vortrag gehalten im Jahre 1871. — Als quantitativ unwesentlich für die Erhaltung der Sonnenenergie sind die auf die Sonne fallenden Meteoriten zu betrachten.

HOLTZ und Sir WILLIAM THOMSON ¹⁾ berechneten die Zeit während welcher die Sonne mit ihrer gegenwärtigen Kraft schon geschienen haben kann, und wie lange sie damit noch wird fortscheinen können. HELMHOLTZ fand für die vergangene Dauer der Sonnenwärme 20 Millionen Jahre. Seine Berechnung stützte sich auf den älteren von POUILLET bestimmten Wert der Intensität der Sonnenstrahlung (Sonnenconstante = 1.76). Nach den neueren Bestimmungen von LANGLEY (Sonnenconstante = 3) ²⁾ hätte die Sonne nur 12 Millionen Jahre hindurch Wärme und Licht auf die gegenwärtige Weise aussenden können. THOMSON kommt deshalb zu dem Schlusse, dass, wenn man Alles in Betracht zieht, wodurch die Rechnung etwas höher ausfallen könnte, es äusserst voreilig („exceedingly rash“) wäre, für die Vergangenheit der Erde mehr als 20 Millionen Jahre Sonnenschein anzunehmen oder auf mehr als 5 oder 6 Millionen Jahre Sonnenschein für die Zukunft zu rechnen. Die Sonne befindet sich jetzt also in einem derartigen Verdichtungszustande, dass sie bereits $3\frac{1}{3}$ bis 4 mal soviel Wärme ausgegeben hat, als ihr noch übrig bleibt.

Während des weissen Stadiums muss jedoch der jährliche Wärmeverlust der Sonne viel grösser gewesen sein, als in

¹⁾ Sir WILLIAM THOMSON, The Sun's Heat. Proceed. Roy. Institution of Great-Britain. Vol. 12. 1887, p. 1. Auch abgedruckt in: Popular Lectures and Addresses. Vol. 1. Constitution of Matter. London 1891, p. 376—429.

²⁾ S. P. LANGLEY, Researches on Solar Heat and its Absorption by the Earth's Surface. A Rapport of the Mount Whitney Expedition. In: Professional Papers, N^o. 15, of the Signal Office. Washington 1884. — CROVA (Comptes rendus de l'Académie des Sciences, T. 108. 1889, p. 35), SAWELIEF (Ibid., p. 287; T. 110, p. 235 und T. 112, p. 481 und 1200) und K. ANGSTRÖM (Wochenschrift für Astronomie und Meteorologie 1890, N^o. 14—16) kamen zu noch höheren Werten für die Sonnenconstante, als LANGLEY.

ihrem gegenwärtigen Zustande, sodass sie thatsächlich bloss viel kürzere Zeit hindurch als 20 Millionen Jahre geschehen haben kann. Verteilen wir eine Wärmemenge $3\frac{1}{3}a$ bis $4a$ über die 58.5 Zeiteile des weissen Stadiums und die $1a$ Wärme des gesammten gelben und roten Stadiums über 41.5 Zeiteile, dann finden wir, dass während des weissen Stadiums die Sonne eine durchschnittlich 2.36 bis 2.84 mal so grosse Strahlungsintensität entwickelt haben muss, als ihr für das gelbe und rote Stadium zur Verfügung steht. So finden wir ferner für die Dauer des weissen Stadiums unserer Sonne $7-8\frac{1}{2}$ Millionen Jahre. Wir setzen dabei voraus, dass die Sonne bis zum Ende ihres leuchtenden Daseins mit ihrer gegenwärtigen Energie fortscheinen wird. In Wirklichkeit jedoch ist die Strahlung im roten Stadium, — also während eines Fünftels der zukünftigen Existenz der Sonne als leuchtender Fixstern — bedeutend schwächer. Geben wir der Strahlungsintensität im roten Stadium den kleinsten theoretisch möglichen Wert, nämlich Null, dann wäre deren minimaler Wert im weissen Stadium 1.91 bis 2.29 mal so gross als im gelben und die Dauer des weissen Stadiums ungefähr $8\frac{3}{4}$ bis $10\frac{1}{2}$ Millionen Jahre. In Wirklichkeit ist jedoch die Strahlungsintensität der roten Sterne durchaus nicht gleich Null. ¹⁾

¹⁾ Nach ihrem Spectrum zu urteilen, befinden sich die Sonnenflecke in einem Zustande, der dem der roten Sterne sehr nahe liegt (SCHEINER, Die Spectralanalyse der Gestirne, p. 315). Nun hat LANGLEY gefunden, dass jene ungefähr 54% der Wärme ausstrahlen, die ein entsprechend grosser Teil der Photosphäre entsendet (YOUNG, Die Sonne. Leipzig 1883, p. 156). Da jedoch die von den roten Sternen und den Sonnenflecken ausgehenden Strahlen in unserer Atmosphäre einer etwas geringeren Absorption unterworfen sind, als die der gelben Sterne und der Photosphäre unserer Sonne, so kann man hieraus ableiten, dass die roten Sterne nur ungefähr die Hälfte der Strahlungsintensität der gelben besitzen. Unter dieser Annahme ergibt die Rechnung, dass die Strahlungs-

Wir haben auch alle Ursache zur Annahme, dass ebenso wie im weissen Stadium — nach der Existenz einer durch zahlreiche Sterne repräsentirten weissen Classe, sowie nach der Stabilität der praetertiären Klimate zu urtheilen — die Strahlung der Sonne auch während ihres gelben Zustandes sehr wenig abnehmen wird. Bei Berechnung der zukünftigen Sonnenwärme auf 5 bis 6 Millionen Jahre hatte THOMSON übrigens schon die Möglichkeit einer verminderten Strahlung berücksichtigt. Viel länger wird darum die Dauer der künftigen Sonnenwärme nicht sein können, und es wird die Zahl von *zehn Millionen Jahren als Maximum der verflossenen Dauer dieser Wärme* und die Annahme, dass *die Strahlung im weissen Stadium zweimal so intensiv* war als die gegenwärtige, der Wahrheit sehr nahe kommen. ¹⁾ Die-

intensität im weissen Stadium 2 bis $2\frac{1}{3}$ mal so gross sein muss, als im gelben und dass die Dauer des ersteren bei unserer Sonne 8 bis 10 Millionen Jahre betragen haben muss, während dann die des gelben auf 4 bis $4\frac{3}{4}$ und die des roten Stadiums auf 1 bis $1\frac{1}{4}$ Millionen Jahre zu veranschlagen wäre.

¹⁾ Man hat wiederholt versucht, sich aus photometrischen Ergebnissen bei Sternen, deren Entfernung und Masse sich ungefähr berechnen und demnach mit denen unserer Sonne vergleichen lassen, eine Vorstellung von den relativen Strahlungsintensitäten der weissen und gelben Sterne zu bilden. Die Unsicherheit dieser Ergebnisse (Vgl. z. B. die Tabellen der Fixsternparallaxen von J. A. C. OUDEMANS in: *Astronomische Nachrichten* N^o. 2915—2916; in den Berechnungen der Masse der Doppelsterne ist die Unsicherheit noch grösser) ist jedoch zu gross, um einigermaassen vertrauenswürdige Resultate zu ermöglichen, selbst für Sterne, bei denen diese Ergebnisse untereinander relativ am Wenigsten abweichen, wie bei α Centauri. Daher die grossen Unterschiede in den Resultaten. Vor kurzer Zeit fand E. W. MAUNDER (*Journ. Brit. Astr. Soc.* Oct. 1891) bei Vergleichung der Leuchtkraft von neun Sternen der ersten und dreizehn Sternen der zweiten Classe, deren Parallaxen durch ELKINSche Helio-metermessungen bestimmt sind, dass die Leuchtkraft der Sterne der ersten Classe durchschnittlich nur $\frac{2}{3}$ der der zweiten Classe beträgt. Wahrscheinlich haben aber die weissen Sterne doch eine grössere relative Leuchtkraft und diesem Umstande ist es auch wol zuzuschreiben, dass die totale Leuchtkraft der weis-

ser Ueberschuss an Sonnenwärme wird wol gewiss hingereicht haben, um einen merkbaren Einfluss auf die allgemeinen Wärmeverhältnisse auszuüben.

sen Sterne erster und zweiter Grösse die der (derselben Grössenklasse angehörnden) gelben um etwas mehr übertrifft, als dies bei den Sternen geringerer Grösse der Fall ist, auch wenn man das arithmetische Verhältniss beider Spectralclassen mit in Rechnung bringt.

Ueberdies lehren die photometrischen Vergleichen nicht viel in Betreff der relativen Strahlungsintensitäten, denn einerseits werden die Strahlen der bläulich-weissen Sterne in unserer Atmosphäre in ganz anderem Maasse absorbirt als die gelben, andererseits ist das Auge für blaue Strahlen nicht ebenso empfindlich wie für gelbe, während es für einen grossen Teil der Strahlen der bläulich-weissen Sterne vollständig blind ist. Empfindlicher für die wirkliche Strahlung der weissen Sterne und demnach ein besseres Maass für dieselbe ist die photographische Platte; das Maximum der Strahlungsintensität des Spectrums dieser Sterne muss ungefähr mit dem photographischen Maximum im Spectrum zusammenfallen. Es ergibt sich jedoch, dass der Unterschied zwischen der photographischen und der optischen Helligkeit der weissen Sterne nur sehr klein ist — weniger als 0.1 Grösse nach KAPTEYN (Verslag van de zitting der Kon. Akad. v. Wet. te Amsterdam vom 2 April 1892) — was dadurch zu erklären ist, dass von den „photografischen“ Strahlen mehr als die Hälfte in unserer Atmosphäre absorbirt wird. Von denen der gelben Sterne dagegen wird nur ein Viertel absorbirt. Ueberdies ist das Auge für gelbe Strahlen wenigstens doppelt so empfindlich als für blaue.

HUGGINS und STONE haben (vor etwa 20 Jahren) versucht, die Strahlungswärme der Sterne direct zu messen. Diese ersten, mit Hülfe der Thermosäule und des Galvanometers angestellten Versuche wurden jedoch unlängst von C. V. BOYS mit einem viel empfindlicheren Instrumente anderer Construction, dem Radiomikrometer, wiederholt (Proceedings of the Royal Society. Vol. 47. London 1891, p. 480) mit dem Resultate, dass trotz der ausserordentlich hohen Empfindlichkeit des Instrumentes keine Spur einer vorhandenen Sternenstrahlung entdeckt werden konnte.

Indessen geht aus allen unseren gegenwärtigen Ergebnissen mit vollkommener Sicherheit hervor, dass in dem specifischen Strahlungsvermögen bei den Sternen verschiedener Spectralclassen kein beträchtlicher Unterschied obwalten kann, und dass die weissen Sterne höchstens einige Male wärmer sein können und höchst wahrscheinlich auch sind, als die gelben, und diese wieder

Es besitzt nun aber die Atmosphäre, in ihrem veränderlichen Wasserdampfgehalt und in ihrer wechselnder Bewölkung, mächtige Mittel zur Regulirung der zu der Erdoberfläche gelangenden Wärmemenge und auch zu ihrer Verteilung nach Raum und Zeit. In einem ähnlichen Zustande, wie derjenige, in welchem, sich den Astronomen und Spectralanalytikern zufolge, unser Schwesterplanet Venus jetzt befindet, der bei einer Bestrahlung, ungefähr zweimal so gross, als die der Erde, eine viel dichtere, sehr wasserdampfreiche und in ihren höheren Teilen mit einer dichten Wolkenschicht erfüllte Atmosphäre besitzt, wird sich wahrscheinlich auch die Erde befunden haben, zu der Zeit als die Sonne noch zu den Sternen der ersten Spectralclassen gehörte. ¹⁾ Die dichte Wolkenschicht muss dann einen grossen Teil der Sonnenstrahlen reflectirt haben, während sie, zugleich mit dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampf, die Temperaturen zeitlich und räumlich gleichmässiger gemacht haben muss.

Der von der Atmosphäre absorbierte Teil jenes Wärmeüberschusses wird durch die von ihm verursachte Verstärkung der allgemeinen Luftcirculation, fast ganz den höheren Breiten zu Gute gekommen sein. Dabei ist es von

als die roten Sterne. Diese überraschende Uebereinstimmung mit der in dieser Abhandlung auf ganz anderem Wege gefundenen Strahlungswärme (die Rechnung hätte ja als Resultat 10, 100 oder 1000 mal grössere Werte ergeben können) spricht, sowol für die Richtigkeit der HELMHOLTZ'schen Verdichtungswärmetheorie der Sonne, als für die Richtigkeit der Annahme, dass die Sonne erst vor geologisch kurzer Zeit, am Ende der Tertiärperiode, ein gelber Fixstern wurde, und erscheint mir als ein kräftiger Beweis dafür, dass die hier gegebene Erklärung der geologischen Klimaänderungen auf fester Grundlage ruht.

¹⁾ Nur wird, wegen des grösseren Absorptionscoefficienten der damaligen Sonnenstrahlen, die Albedo der Erdatmosphäre gewiss eine viel schwächere gewesen sein als die jetzige der Venus, die von ZÖLLNER und SEIDEL zu 0.6 bestimmt worden ist.

grosser Bedeutung, dass die Sonne in ihrem weissen Stadium nicht nur eine viel grössere Strahlungsenergie, sondern diese auch in Form von Strahlen kleinerer Wellenlänge besass. Denn letztere werden nach den Forschungen von LANGLEY durch die Atmosphäre der Erde in viel höherem Maasse absorbiert, als die Strahlen von grösserer Wellenlänge. Von der an violetten und ultravioletten Strahlen um soviel reicheren weissen Sonne werden demnach verhältnissmässig viel weniger Strahlen die Erdoberfläche erreicht haben, als von der jetzigen, im Zustande eines gelben Sternes befindlichen Sonne, die relativ viel rote und ultrarote Strahlen besitzt. Demnach konnte durch directe Strahlung nur ein verhältnissmässig viel geringerer Teil der Energie der weissen Sonne auf die Temperatur der Klimate Einfluss ausüben — überall, jedoch vor Allem am Aequator. Dagegen wird die durch allgemeine Absorption den höheren Luftschichten mitgeteilte Energie der damals überwiegenden blauen, violetten und ultravioletten Strahlen zur Verstärkung der allgemeinen Circulation der Atmosphäre gebraucht worden und auf indirectem Wege den subpolaren Breiten zu Gute gekommen sein.

Umgekehrt würde, wenn sich die Sonne in dem weniger heissen Zustande eines roten Sternes befände, relativ wenig von ihrer ausgestrahlten Energie zur Verstärkung der allgemeinen Luftcirculation verbraucht werden. Indirect würden also die höheren Breiten viel weniger erwärmt werden als jetzt, obwohl die Temperatur auch in der Nähe des Aequators niedriger sein würde, weil die Zunahme der roten und ultraroten Strahlen minder bedeutend wäre als die Abnahme der violetten und ultravioletten.

Die verhältnissmässig geringe Zahl der Sterne, welche wie Procyon, den Uebergang vom ersten zum zweiten Stadium bilden, wird der in relativ kurzer Zeit allmählich vor sich

gehenden Abkühlung der Klimate der tertiären Zeit entsprechen. Als jedoch zu Beginn der Pleistocänperiode die gelbe Sonne ihre Herrschaft angetreten hatte und die gegenwärtigen klimatischen Verhältnisse bereits begonnen hatten, kam es, wie wir sehen, zwei- oder dreimal zu einer vorübergehenden beträchtlichen Abkühlung, die überall wo dazu günstige Bedingungen obwalteten, zu Vereisung führte. Diese pleistocänen Abkühlungen müssen nicht viel weniger stark gewesen sein, als die Erhöhung der Temperatur während der vortertiären Zeit, und müssen sehr bedeutenden Herabsetzungen der Sonnenstrahlung entsprechen, die, Hand in Hand gehend mit einer grossen Umwandlung im Zustande der Sonne, sich durch Farbe und Spectrum offenbart hätten.

Welches können nun die Sterne sein, die sich in diesen glacialen Zwischenperioden des zweiten Stadiums befinden? Offenbar keine anderen als Uebergangsterne von der zweiten zur dritten Classe, oder Sterne der dritten Classe selbst. ¹⁾ Dass derartige grosse, periodische Veränderungen der Strahlung wirklich vorkommen, wird wahrscheinlich gemacht durch die verhältnissmässig grosse Anzahl Ueber-

¹⁾ Wahrscheinlicher Uebergangsterne, 1. weil sich die Temperatur des gegenwärtigen Klimas in mittleren Breiten von der des pleistocänen weniger unterscheidet als von der des mittelternären (ungefähr bloss die Hälfte), während doch die roten Sterne etwa ebensoviel kühler sind als die gelben, wie die weissen wärmer sind, 2. weil der ersterwähnte Temperaturunterschied ungefähr bloss viermal so gross ist als die Oscillation der Temperatur in der von BRÜCKNER entdeckten 35-jährigen Periode, für die man auf der Sonne noch keine correspondirenden Veränderungen nachgewiesen hat, obwol Vieles darauf hinweist, dass auch sie durch Veränderungen in der Sonnenstrahlung verursacht wird, und 3. weil die Erde sich jetzt in einer Periode befindet, die um ein Geringes kühler ist als die mittleren Interglacialzeiten, und die klimatisch genauere Uebereinstimmung zeigt mit den Uebergangszeiten zwischen Eis- und Interglacialperioden (BRÜCKNER, Klimaschwankungen, p. 314), während die Sonne jetzt doch den reinen Typus eines gelben Sternes repräsentirt.

gangssterne zwischen der zweiten und dritten Classe, ferner durch die Thatsache, dass eine Anzahl gelber Sterne periodischen Veränderungen von viel kürzerer Dauer unterworfen ist, wobei die Breite und Dunkelheit der Linien zunimmt und selbst Spuren säulenförmiger Zonen auftreten, wie sie für die Sterne der dritten Classe charakteristisch sind; dadurch ferner, dass viele veränderliche Sterne auch zur Uebergangsgruppe und die meisten zur dritten Classe gehören; und endlich dadurch, dass auch im Körper unserer Sonne kurze periodische Veränderungen vor sich gehen, von denen wenigstens eine elfjährige Periode der Sonnenflecken mit Sicherheit bewiesen ist. Wo es solche periodische Veränderungen von kurzer Dauer giebt, da können auch längere Perioden als wahrscheinlich angenommen werden, womit die statistischen Ergebnisse der Sternklassen ebenso gut in Einklang zu bringen sind, wie unsere Kenntnisse vom physikalischen und chemischen Zustande der Sonne, sowie die geologischen Erscheinungen darauf hinweisen. Seit der Zeit da die Sonne in ihren gegenwärtigen, schon beträchtlich kühleren Zustand eines gelben Sternes eintrat, wobei eine grosse Anzahl chemischer Elemente in ihrer Atmosphäre zum Vorschein kam, bildeten sich — durch die Möglichkeit nämlich des Entstehens chemischer Verbindungen — gewiss Bedingungen, unter denen es zu periodischen Veränderungen der Strahlung kommen kann, und wiederholt hat man in den letzten Jahren auch für die elfjährige Periode der Sonnenflecken darauf hingewiesen, dass diese Veränderlichkeit chemisch erklärt werden könne. Die geologischen Erscheinungen der Pleistocänperiode lassen sich auf diese Art gut erklären. Wenn auch die Schätzungen in Betreff der Dauer der ganzen Periode zu sehr ungleichen Resultaten geführt haben, soviel steht fest, dass die Interglacialzeiten von sehr langer Dauer gewesen sein müssen, jede

einzelne von viel längerer, als die postglaciale Zeit, in der wir leben. Diese kann demnach sehr wol, auch was ihre Dauer betrifft, das Aequivalent der interglacialen Perioden sein, mit denen sie in ihren klimatischen Verhältnissen ganz übereinstimmt. Es ist auch wahrscheinlich, dass die interglacialen Perioden ebenfalls absolut viel länger gedauert haben, als die eigentlichen Eiszeiten, sodass die gesammte Dauer der ersteren — vergangener und zukünftiger — zur Anzahl der gelben Sterne, die gesammten Eiszeiten zur Anzahl der Uebergangsterne zu den roten (vielleicht, aber unwahrscheinlich, inclusive die roten Sterne selbst) in ein Verhältniss gebracht werden können. Alles weist darauf hin, dass im gelben Stadium in langen Schwankungen, immer während einer verhältnissmässig kurzen Zeit, chemische Verbindungen auftreten durch die der Stern eine rötliche (oder rote) Farbe erhält, und im Spectrum breitere und dunklere Linien (die die Anwesenheit einer dickeren Atmosphäre anzeigen) und dunkle Bänder oder Säulen (die Kennzeichen für das Vorhandensein chemischer Verbindungen) erscheinen. Wegen der übrigens geringen und gleichmässigen Abnahme der Strahlung während des gelben Stadiums, werden diese Schwankungen sich vermutlich lange Zeit hindurch wiederholen, ohne beträchtliche Beschleunigung und Verkürzung der Zwischenperioden, und erst kurz vor dem Ende des Sonnenlebens wird die intermittirende kühle Periode rasch anwachsen und auch alsbald der Körper der Sonne bleibend rot und endlich dunkel geworden sein.

**Die Sonnenwärme ist höchst wahrscheinlich nur Verdichtungs-
wärme. Scheinbarer Widerspruch mit geologischen
und biologischen Ergebnissen.**

Kehren wir nun zum Ursprung der Sonnenwärme zurück.
Mit HELMHOLTZ und THOMSON sucht man diesen jetzt

beinahe ausschliesslich in dem Arbeitsvermögen, das die Sonne durch die gegenseitige Anziehung ihrer Teile besitzt. Bevor die Materie aus der die Sonne besteht e i n e n Körper bildete und heiss ward, muss sie in Form kalter Massen im Weltenraume existirt haben. Nach HELMHOLTZ und THOMSON ist die Kraft, welche ihre Vereinigung bewirkte, die Gravitation oder allgemeine Anziehungskraft der Himmelskörper, und auf dieser Voraussetzung beruhen ihre Berechnungen über die Dauer der Sonnenwärme. THOMSON ¹⁾ untersuchte, ob die Sonnenmasse nicht noch durch andere Kräfte zusammenzutreten vermocht hätte. Es können, sagt der grosse Physiker, zwei kalte Körper mit der durch die gegenseitige Anziehung bewirkten Geschwindigkeit, auf einander gestossen sein. Mit „enormously less probability“ können es auch zwei Massen gewesen sein, die mit viel grösserer Geschwindigkeit, als der der beiderseitigen Gravitation, collidirten. Dazu hätten ihre Eigenbewegungen beinahe vollkommen auf ihre Mittelpunkte gerichtet sein müssen. Selbst bei relativ geringer Geschwindigkeit dieser Eigenbewegungen hätte eine kleine Ablenkung von der Richtung zu einander die Collision verhindern, oder bewirken können, dass die bereits collidirten Körper sich wieder trennten und dann um das gemeinschaftliche Trägheitscentrum drehten. Die Wahrscheinlichkeit, dass aus einer grossen Anzahl einander anziehender, im Weltenraum zerstreuter Körper zwei benachbarte zusammenstossen, ist viel grösser, wenn diese Körper sich im Ruhezustande befinden, als wenn sie sich in allerlei willkürlichen Richtungen bewegen mit Geschwindigkeiten, die, im Vergleiche mit den lediglich durch die gegenseitige Anziehung erhaltenen, beträchtlich sind, und im letzteren Falle wird die Wahrscheinlichkeit

¹⁾ Sir W. THOMSON, The Sun's Heat. l. c. p. 13 sqq.

immer geringer, je grösser die Geschwindigkeiten der Eigenbewegungen sind. In Wirklichkeit besitzen nun viele Sterne und auch unsere Sonne eine Eigenbewegung. Die Geschwindigkeit derselben ist aber meistens sehr klein im Vergleiche mit der, welche ein Körper durch die Anziehung der Sonne erhält. Während diese letztere 612 K.M. beträgt, kommen am Sternenhimmel nur wenig Bewegungen von mehr als 60 K.M. Geschwindigkeit vor, und die der meisten Sterne ist eine viel geringere. ¹⁾ Einzelne Sterne aber, wie 1830 GROOMBRIDGE, 9352 LACAILLE, 61 des Schwan und ein Paar andere besitzen eine so schnelle Bewegung, dass es scheint, dass diese nicht durch die Gravitation verursacht ist, wenigstens wenn man mit NEWCOMB ²⁾ nur die sichtbaren Sterne in Rechnung bringt. In Wirklichkeit jedoch muss die Masse und die Zahl der im Raume existirenden dunklen Körper, aus denen die leuchtenden nur bei einem seltenen Zusammentreffen günstiger Umstände entstehen, wahrscheinlich um Vieles grösser sein, als die der leuchtenden Sterne, und so mag selbst 1830 GROOMBRIDGE seine Geschwindigkeit der Gravitation zu verdanken haben. Jedenfalls aber kommen am Himmel verhältnissmässig beträchtliche Geschwindigkeiten höchst selten vor, und dadurch wird es um so unwahrscheinlicher, dass die Energie unserer Sonne und der anderen Sterne in bedeutendem Maasse diesem Umstande zu verdanken ist.

¹⁾ Aus photographischen Spectralbeobachtungen von H. C. VOGEL in Potsdam und aus genauen directen Messungen von Spectra-Verschiebungen, die J. KEELER von der Lick-Sternwarte auf Mount Hamilton vornahm (Publications of the Astronomical Society of the Pacific. II, p. 265) hat sich herausgestellt, dass die Bewegungsgeschwindigkeit einer grossen Anzahl Sterne eine viel geringere ist, als früher — zum Beispiel zu Greenwich — bestimmt wurde, durchschnittlich ungefähr die Hälfte, nämlich nach den Potsdamer Bestimmungen 17 K. M.

²⁾ Popular Astronomy. 1878, p. 487.

Auch kann, sagt THOMSON ferner, unsere Sonne aus einer grossen Anzahl sich in verschiedenen Richtungen bewegender Körper entstanden sein, und auch dann muss die Wahrscheinlichkeit einer Collision um so geringer werden, je grösser das resultirende Moment dieser Bewegungen ist. Auch dann ist für das Zusammenstossen Ruhe der günstigste und grosse Geschwindigkeit der Eigenbewegung der ungünstigste Zustand.

J. CROLL stellt dieser, auf dem festen Boden der Wahrscheinlichkeitsrechnung stehenden Gravitationstheorie seine „Impact-“ oder Stosstheorie gegenüber.¹⁾ Er glaubt, dass die Körper, aus denen die Sonne sich aufgebaut hat, eine Eigenbewegung besessen haben, die viel grösser war, als diejenige, welche allein durch Gravitation hätte entstehen können, und, indem er zugiebt, dass eine Collision dadurch viel unwahrscheinlicher war, erblickt er gerade in dieser Unwahrscheinlichkeit den Beweis für die Richtigkeit seiner Auffassung. Er ist der Meinung, dass Collisionen gerade sehr selten sein müssen, sonst würde das Weltall sich nicht in dem Zustande befinden, den wir kennen. Seine Gründe erscheinen jedoch äusserst hinfällig, und die Wahrscheinlichkeit, dass Himmelskörper mit der von ihm vorausgesetzten Geschwindigkeit, collidiren, ist eine so ausserordentlich kleine, dass wir trotz der grossen Menge dunkler Körper in unserer Welt und trotz der langen Dauer des individuellen Sternenlebens, beinahe keine Sterne sehen könnten. CROLL wird zur „impact-theory“ gebracht durch seine Hypothese zur Erklärung der pleistocänen Vereisung, die für die

¹⁾ Man sehe namentlich: *Climate and Time in their Geological Relations*. London 1875, p. 353 sqq.; *Discussions on Climate and Cosmology*. Edinburgh 1886, Chapter xviii und xix, und: *Stellar Evolution and its Relations to Geological Time*. London 1889.

Existenz lebender Wesen auf der Erde eine längere Zeit beansprucht, als die Dauer der aus der allgemein angenommenen Quelle entspringenden Sonnenwärme zugesteht. Den hauptsächlichsten Beweis für die Richtigkeit seiner Auffassungen findet CROLL darin, dass Geologen und Biologen für die geologische Schichtenbildung und für die Entwicklung des Lebens auf der Erde mehr Zeit in Anspruch nehmen als die 20 Millionen Jahre, welche die Physiker dafür als Maximum zur Verfügung stellen konnten. Durch Messung der von den Flüssen abgelagerten Sedimente kann man erfahren, wie gross durchschnittlich die Denudation des festen Landes ist, und auf diese Weise lässt es sich, unter Voraussetzung der heutigen Bedingungen auch für die Vergangenheit, berechnen, wie viel Zeit zur Bildung der sedimentären Schichten, aus denen jetzt die Gebirge der Erde bestehen, nötig war. Diese Schätzungen sind jedoch nur sehr annähernde und führen zu sehr verschiedenen Resultaten. Es ist fernerhin möglich und sogar sehr wahrscheinlich, dass in früheren Zeiten die Denudation viel bedeutender war. Sie hängt in erster Linie von der Regenmenge und deshalb vom Feuchtigkeitszustande der Luft ab. Die Denudation und die mit ihr Hand in Hand gehende Verwitterung der Gesteine ist zweifellos in den Tropen am Beträchtlichsten, und wirklich sehen wir auch, dass gegen den Aequator hin der Regenfall stark zunimmt, so dass er nach MURRAY daselbst zwei- bis dreimal so gross ist als in mittleren Breiten. ¹⁾ Zur Zeit der so viel mehr Wärme aus-

¹⁾ J. MURRAY, On the total annual Rainfall on the Land of the Globe. Scottish Geographical Magazine. Vol. III. 1887, p. 65.

Im malayischen Archipel ist der Regenfall für eine gleiche Oberfläche sogar fünf-, durchschnittlich in der Nähe des Aequators viermal so gross als in Europa. Dabei hat das Regenwasser in den Tropen einen zehnmal grösseren Gehalt an Salpetersäure.

strahlenden weissen Sonne muss die Atmosphäre eine ausserordentlich grosse Menge Wasserdampf enthalten haben, und zwar über der ganzen Erde, denn wenn auch die Gegenden höherer Breiten den Tropen gegenüber an Zunahme der direct zugestrahlten Wärme relativ zu kurz kamen, so wurde ihnen dies durch die sehr warmen Meeresströmungen und milden Winde vergütet, deren Dämpfe sich über dem Lande reichlich condensiren mussten. Die Verwitterungsvorgänge werden überdies (bei relativ gleichbleibender Befeuchtung) durch höhere Temperatur wesentlich befördert, und auch die Vegetation ist ein wichtiger Factor. ¹⁾ Während der Zeit, da die Sonne noch in stärkerem Strome der Erde von ihrer Energie spendete, muss zugleich der durch diese unterhaltene Kreislauf des Wassers kräftiger und es müssen somit seine mechanischen Wirkungen der Erosion und des Transportes der gelösten und festen Verwitterungsprodukte bedeutender gewesen sein. Es wird daher keineswegs übertrieben sein, wenn wir annehmen, dass zu jener Zeit die Denudation wol zehnmal intensiver gewesen sein mag, als sie jetzt in mittleren Breiten ist, — und so sehen wir, dass die geologischen Zeitbestimmungen für die älteren Perioden nicht jenen Wert besitzen, den CROLL und Andere ihnen zuschreiben.

Relativ mehr Vertrauen verdienen die biologischen Gründe für die Annahme einer sehr langen Dauer der Sonnenwärme. Die Evolution der Organismenwelt geht äusserst

¹⁾ F. VON RICHTHOFEN in: G. NEUMAYER'S Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen, 2te Auflage, Bd. I. Berlin 1888, p. 230—231.

Vgl. auch: J. C. RUSSELL, Subaerial Decay of Rocks. Bulletin of the U. S. Geol. Survey No. 52. Washington 1889.

Nachdem MÜNTZ gezeigt hat, dass bei der Verwitterung der Felsen Bakterien (*Nitromonas*) die Hauptrolle spielen, ist jene Bedeutung der Feuchtigkeit und der Temperatur wol begreiflich geworden.

langsam vor sich. Die Entwicklung des dreizehigen *Hyracotherium* (*Orohippus*) zum echten Pferde, die man gut verfolgen kann, nahm die ganze Tertiärperiode in Anspruch; Fledermäuse und Walfische, diese sonderbaren Modificationen des Säugetiertypus, finden sich in der eocänen Formation bereits vollkommen entwickelt, und gewiss genügte nach diesem Maassstabe die lange Zeit seit Beginn des palaeozoischen Zeitalters nicht zur Entwicklung des ganzen Säugetierstammes. Die geologisch ältesten Säugetiere, die wir kennen, die *Multiuberculaten*, lebten in der Triasperiode; obwol wahrscheinlich mit dem niedrigst organisirten lebenden Zweige, den Monotremen, verwandt, und vielleicht zu ihm gehörend, sind sie doch morphologisch von niedriger organisirten Wirbeltierklassen auch schon so weit entfernt, dass wir mit WALLACE „on the lowest estimate“ den Ursprung der Säugetiere sehr weit zurück in die palaeozoische Zeit versetzen müssen. ¹⁾ Dasselbe ist nach MARSH und FÜRBRINGER sehr wahrscheinlich für die Vögel der Fall; ²⁾ die ersten Anfänge von Flugvermögen bei den Ahnen dieser so wunderbar differenzirten Classe fallen jedenfalls schon in den Beginn des Jura, wenn nicht in die Trias. ³⁾ Nicht bei Haupttypen oder Classen, sondern bis heute nur bei kleineren Gruppen gelang es die Entwicklung zu verfolgen und ihren Anfang zu entdecken. Je näher wir das alte Leben kennen lernen, um so weiter müssen

¹⁾ A. R. WALLACE, *Island Life*, London 1880, p. 205.

Vgl. auch TH. H. HUXLEY's schöne Rede über die Palacontologie und die Evolutionslehre, Anniversary Address to the Geological Society of London im Jahre 1870. *Proceed. Geol. Society* 1870.

²⁾ O. C. MARSH, *Amer. Journ. of Science*, Vol. 2, 1881.

MAX FÜRBRINGER, *Untersuchungen zur Morphologie und Systematik der Vögel*. Amsterdam 1888, p. 1571.

³⁾ FÜRBRINGER, l. c.

wir das erste Auftreten der höheren Formen in die Vergangenheit zurückverlegen. Bei den Pflanzen dachte man sich den Beginn der Dicotylen erst in der Tertiär- später in der Kreideperiode, und jetzt hat man diese hochstehende Classe auch schon in der Juraperiode entdeckt. ¹⁾ Im Allgemeinen stehen die ältesten Repräsentanten, die wir von den einzelnen Classen kennen, nicht am Anfange der Entwicklung, und DARWIN hält es für unbestreitbar, dass vor der Bildung der untersten cambrischen Schichten lange Perioden verflossen sind, die ebenso lange oder wahrscheinlich viel länger gedauert haben, als der ganze Zeitraum von der cambrischen Zeit bis heute, und dass dieser während unermesslichen Perioden die Erde von lebenden Wesen wimmelte. WALLACE, der in dieser Sache mehr vielleicht als irgend ein Anderer zu einem Urtheil berechtigt ist, glaubt, dass die Zeit seit Beginn des Lebens auf der Erde nicht viel weniger als zwei und ein halb mal so lang sein kann, als die, welche seit der cambrischen Periode verflossen ist; indessen hält er es für nicht unwahrscheinlich, dass jene Zeit länger war, weil, wie man allgemein annimmt, die durch Veränderungen in der Umgebung erzeugte Reaction des Organismus, bei niedrigen und einfachen Lebensformen weniger intensiv war als bei hohen und complicirten, wodurch der Fortschritt der organischen Entwicklung ungezählte Jahrhunderte hindurch ein aussergewöhnlich langsamer gewesen sein mag. ²⁾

Jedoch kann auch die organische Entwicklung unter der Herrschaft der weissen Sonne schneller vor sich gegangen sein, als zum Beispiel in der Tertiärperiode, in der wir die Entwicklung einiger Formen genau verfolgen können, und

¹⁾ G. DE SAPORTA in der Revue générale de Botanique, Vol. II, 1890.

²⁾ WALLACE, Island Life, p. 205.

in der Licht und Wärme der Sonne schon im Abnehmen begriffen waren. Diese Entwicklung hängt in letzter Instanz ab vom Vorkommen zahlreicher und vielseitiger, individueller, erblicher Abweichungen vom Typus der Mittelform jeder Species, und nach DARWIN liegt die wahrscheinlich wichtigste günstige Bedingung für diese morphologischen und physiologischen Abweichungen in übermässiger Ernährung; ¹⁾ während dagegen in der Tertiärzeit die Ernährungsverhältnisse eine fortwährende Einschränkung erlitten. Auch werden die vortertiären günstigeren Verhältnisse die organische Evolution dadurch befördert haben, dass die Anzahl der für die Selection verfügbaren Individuen einer Art grösser sein konnte, wobei mit der Anzahl der Individuen in Folge vermehrter Kreuzung, nach WEISMANN'S Vererbungstheorie, die Variabilität selbst in hohem Grade zunehmen musste. Die feuchte, gleichmässige Wärme der Atmosphäre und die grössere Intensität des Sonnenlichtes werden überall in hohem Maasse den Pflanzenwuchs direct, und durch denselben das Tierleben gefördert haben. Die Palaeontologie liefert viele directe Beweise, dass eine reichere Entfaltung dieses letzteren wirklich bestanden hat. Seit der Mitte der Tertiärzeit wird also die organische Evolution zum Mindesten bedeutend langsamer vor sich gegangen sein müssen. ²⁾

¹⁾ Kap. 22 in: The Variation of Animals and Plants under Domestication.

²⁾ Besonders als am Ende der Tertiärperiode die Sonne rasch in ihr gelbes und darauf ihr in glaciales Stadium eintrat. Damit ist denn auch eine plausible Erklärung des grossen Rätsels, wie NEUMAYR die Erscheinung nennt, gegeben, dass die reiche tertiäre Säugetierfauna und ihre zahlreichen grossen diluvialen Nachkommen auf der ganzen Erde ausstarben, weshalb wir heute überall inmitten einer sehr verarmten Fauna leben — „eine Erscheinung die uns aber zeigt, dass in irgend einer noch nicht erkennbaren Weise und aus noch unbekannten Gründen während der Diluvialperiode tiefgreifende Aenderungen der Lebens-

Auch das Tierleben kann vielleicht unmittelbar durch das intensive Licht der weissen Sonne begünstigt worden sein. MOLESCHOTT, PFLÜGER, VON PLATEN und Andere hatten früher gefunden, dass das Licht den Stoffwechsel tierischer Organismen und Gewebe befördert. MOLESCHOTT und FUBINI hatten ferner gesehen, dass auch bei blinden Tieren blau-violettes Licht ebenso wirksam ist als weisses, während Rot viel geringeren Einfluss besitzt. ¹⁾ Später fanden FUBINI und SPALITTA, ²⁾ dass bei Säugetieren und Vögeln gerade blaues und violettes Licht den geringsten Einfluss haben; nur bei Kröten kam diesen Farben die maximale Einwirkung zu. Schon PFLÜGER vermutete, dass diese starke Zunahme des Stoffwechsels indirect durch reflectorisch angeregte Muskelbewegungen oder durch Erhöhung des Muskeltonus verursacht sein möge, und in der That lehrten Experimente, die

bedingungen sich über die grosse Mehrzahl aller Festländer der Erde geltend gemacht haben, Wirkungen von allgemeinerer Bedeutung und Ausdehnung als irgend welche Ursachen" (wie zu weit gehende Specialisirung, directer Einfluss der Eiszeit oder Ausrottung durch den Menschen), „die man für dieselben anzunehmen, etwa geneigt sein könnte." (M. NEUMAYR, Die Stämme des Thierreiches. Wien und Prag 1889, p. 149. Vgl. auch seine: Erdgeschichte. Bd. II, p. 475 und 615). Wegen verminderter Variabilität und Beschränkung des Materiales zur Selection wird nämlich die unausgesetzt nötige Anpassungsfähigkeit — jene ohne bemerkbare morphologische Veränderungen mit einbezogenen — an veränderte äussere Verhältnisse (und diese erfuhren in Folge der verminderten Sonnenstrahlung damals so tiefgreifende Aenderungen!) immer mehr abgenommen haben. Das hat auf die Dauer notwendiger Weise zum Untergange vieler Arten, an erster Stelle der individuenärmeren, weniger fruchtbaren und eine grössere Menge von Nahrung bedürftigen von sehr grossen Tieren führen müssen. So allein erscheint es begreiflich wie so viele Arten in allen Erdteilen ohne Kampf mit siegreich concurrenrenden Lebewesen verhältnissmässig rasch gänzlich erloschen sind und dass nicht bloss eine Verminderung der Individuenzahl jeder Art stattgefunden hat.

¹⁾ MOLESCHOTT's Untersuchungen. Bd. 12, p. 266—428.

²⁾ Ibid. Bd. 13, p. 563.

LOEB mit Schmetterlingspuppen anstellte,¹⁾ dass, wenn Muskelbewegungen und Veränderungen des Tonus ausgeschlossen sind, die Oxydation in den Geweben nur sehr wenig zunimmt. Zu einem kleinen Teile muss der erhöhte Stoffwechsel doch dem directen Einflusse des Lichtes zugeschrieben werden, und MOLESCHOTT und FUBINI sahen dann auch schon, dass sogar blinde Tiere, wenn auch in geringerem Grade, diesem Einflusse des Lichtes unterworfen sind, wie später auch von MARTIN und FRIEDENWALD bestätigt wurde.²⁾ Es scheint demnach wol festzustehen, dass das Licht im Allgemeinen den tierischen Stoffwechsel auch auf directe Weise befördert, und es ist auch beinahe gewiss, dass an dieser Wirkung die stärker brechbaren Strahlen am violetten Ende des Spectrums, die sogenannten chemischen Strahlen, den grössten Anteil haben.

Wohlbekannt ist ferner auch der Einfluss des Lichtes auf das Wachstum der Pflanzen, der sich meist dadurch geltend macht, dass er das Längenwachstum verlangsamt (Etiollement und positiver Heliotropismus), seltener dadurch, dass er desselbe befördert (negativer Heliotropismus). Dieser Einfluss kommt fast ausschliesslich auf Rechnung der Strahlen hoher Brechbarkeit, und das Maximum der Wirkung entspricht der Grenze zwischen dem Violett und dem Ultraviolett. Demnach findet sich auch hier ein deutlicher Einfluss auf den Stoffwechsel, des Lichtes im Allgemeinen und besonders der „chemischen“ Strahlen des Spectrums.

Der Stoffwechsel und demzufolge alle Lebensäusserungen — deren auch die phylogenetische Entwicklung eine ist — können demnach bei Tieren und Pflanzen unter der weissen Sonne kräftiger gewesen sein.

¹⁾ PFLÜGER's Archiv, Bd. 42, p. 393.

²⁾ H. N. MARTIN und J. FRIEDENWALD in: Studies from the Biological Laboratory of the John Hopkins University. Baltimore. Vol. 4, 1890.

In der anorganischen Natur werden die lichtempfindlichen Substanzen fast nur von den stärker brechbaren Strahlen des Spectrums, besonders von denen im Blau, im Indigo, im Violett und Ultraviolett zerlegt. ¹⁾ Es ist nun höchst merkwürdig, dass dem gegenüber die Zerlegungsprozesse der, resp. durch Vermittelung der hauptsächlichsten lichtempfindlichen Stoffe in der organischen Natur, des Sehpurpurs der Augennetzhaut und des Chlorophylls der grünen Pflanzenteile, die beide ein so inniges Band zwischen Licht und Leben bilden — wol das innigste, das zwischen irgend einer Erscheinung der Aussenwelt und dem Organismus besteht — nicht in erster Linie durch die „chemischen“ Strahlen am violetten Ende des Sonnenspectrums, sondern durch die energiereichsten beeinflusst werden. Die Curve, welche den Helligkeitswert der Farben des Spectrums darstellt, erreicht ihren Gipfelpunkt in der Nähe der Mitte des Spectrums und sinkt nach den beiden Enden zu ab — und die Curve des als Assimilation bezeichneten Vorganges der Zerlegung der Kohlensäure und des Wassers in ihre Elemente, dieses hauptsächlichsten Ernährungsprozesses der Pflanzen, der durch Vermittelung des Chlorophylls stattfindet, entspricht beinahe vollkommen dieser Lichtcurve. Nach LANGLEY'S neueren Bestimmungen mit dem Beugungsspectrum und dem Bolometer ²⁾, liegt auch das Maximum der Energie nicht im Ultrarot, sondern, gleich dem der Lichtintensität

¹⁾ E. YUNG (Arch. des sc. phys. et nat. Genève, 1883, p. 55—56) beobachtete, dass die Entwicklung der Eier von Fischen und Fröschen durch blaues und violettes Licht am Meisten befördert wurde. — Beim Heliotropismus pelagischer Tiere stellte es sich heraus, dass die stärker brechbaren Strahlen des Spectrums wirksamer waren, als die schwächer brechbaren (T. J. GROOM und J. LOEB in: Biol. Centralblatt, Bd. 10. 1890).

²⁾ S. P. LANGLEY, Distribution de l'énergie dans le spectre solaire normal. Comptes rendus de l'Académie des Sciences, T. 92. Paris 1873, p. 701.

und der Assimilation der grünen Pflanzenteile, im Gelb.¹⁾ Ich kann es nicht unterlassen, auf diese auffallende Uebereinstimmung hinzuweisen, die man nach der Art des stofflichen Prozesses hier am Wenigsten erwarten würde; sie ist eines der schönsten Beispiele der Anpassung des Organismus an die Umgebung und die Verhältnisse, unter denen er lebt. Unter einer gelben Sonne muss es im Kampfe ums Dasein in der That ein grosser Vorteil sein, wenn Gelb die deutlichste Farbe ist, und wenn gelbe Strahlen die Ernährung der Pflanzen am Meisten befördern. Nimmt man diese Ursache der sonderbaren Erscheinung an, dann muss man es gleichfalls für sehr wahrscheinlich halten, dass zur Zeit, da noch die grösste Energie des Sonnenlichtes blauen und violetten Strahlen zukam, gerade diese, mehr als die anderen das Sehorgan erregt und die kräftigste Assimilation in der Pflanzenwelt werden bewirkt haben.

Indem also damals die eigentlichen chemischen Strahlen die grösste Wirkung hervorbrachten, konnten diese wichtigen Lebensprozesse, das Sehen der Tiere und die Assimilation der Pflanzen, kräftiger sein. Demnach wird die vortertiäre Sonne auch in der Weise die Entwicklung der Organismenwelt beschleunigt haben, dass sie, durch die Qualität ihres Lichtes, die Tiere zu heftigerem Kampfe ums Dasein zurüstete und einen üppigeren Pflanzenwuchs erzeugte.

Weitere Umstände zu Gunsten der Ansicht, dass die geologischen Klimaänderungen durch die Entwicklungsgeschichte der Sonne zu erklären sind.

Durch die Annahme dass die Sonne, vor geologisch nicht so langer Zeit, in dem Zustande eines weissen Sternes ver-

¹⁾ HANN (Handbuch der Klimatologie. Stuttgart 1883, p. 27) machte bereits auf diese Uebereinstimmung der drei Maxima aufmerksam. — Links und rechts

kehrte, lässt sich die häufig vorkommende Rotblindheit als Atavismus, als eine negative Erbschaft aus jener langen Zeit betrachten und erklären, da das Auge unserer Vorfahren für rote Strahlen (die im weissen Stadium der Sonne fast gar nicht zugegen waren) noch nicht empfindlich war. — A. KOENIG ¹⁾ und später W. UHTHOFF ²⁾ fanden beim normalen Auge ein kleineres „zweites Maximum“ der Farbenempfindlichkeit im Blau; nach obiger Betrachtungsweise also als physiologisches Rudiment aufzufassen. — Mit der Annahme, dass das Maximum der Energie des Sonnenspectrums lange Zeit hindurch successive in der Nähe des Blau-Violett (bis in die Tertiärperiode), der Mitte des gegenwärtigen Spectrums (Prae- und Interglacialzeiten) und des Rot (Glacialzeiten) verweilt hat, ist im Einklang die YOUNG-HELMHOLTZ'sche Theorie der Farbenempfindung; diese erhält dadurch eine genetische und causale Grundlage. Die während der früheren Zustände des Sonnenlichtes jedesmal für die Helligkeitsempfindung erworbene Anpassung blieb nämlich danach erhalten, weil sie nun nützlich war zur Unterscheidung der Qualität des Lichtes; das ursprünglich monochromatische Auge ward zu einem dichromatischen und dieses zum heutigen trichromatischen Auge. Die Farbenempfindung entwickelte sich als indirecte Folge der Veränderungen in der Art des Sonnenlichtes. ³⁾ So entsprechen den Energiecurven jener Sonnenspectren ganz die Curven, welche die Erregungsintensitäten

von dem Maximum fällt die Curve der Energie des Sonnenspectrums viel weniger steil ab als die zwei anderen Curven; die Helligkeitsempfindung und die Assimilation sind also keine blosse Function der Energie der Strahlen, sondern auch der Wellenlänge.

¹⁾ Annal. d. Physiol. 1884. N. F. Bd. XXII.

²⁾ GRAEFE'S Archiv für Ophthalm. Bd. XXXIV. 4, p. I.

³⁾ Hiernach wäre als die mittlere Grundfarbe grünliches Gelb zu wählen.

für die drei Grundfarben angeben. Auch wird dadurch begreiflich, dass Rot die am Schwersten erregende Farbe ist, dass beim dichromatischen Auge am Häufigsten die Empfindung des Rot fehlt, und dass die periphere Ausdehnung des Gesichtsfeldes für Rot am Geringsten, für Blau am Grössten ist, während dagegen in der Mitte der Retina (durch die gelbe Färbung rings um die Fovea centralis) alles Blau und Violett etwas dunkler wird. ¹⁾

Nach den Experimenten von PAUL BERT und Sir JOHN LUBBOCK mit Daphniden scheint sich das Auge sogar sehr niedriger Tiere, Farben gegenüber, der Hauptsache nach wie das menschliche zu verhalten. ²⁾

Ein schönes Beispiel einer indirecten Anpassung des Organismus an die gegenwärtige Art des Sonnenlichts liefert sodann die Phosphoreszenz der Leuchtkäfer. Das von diesen Tieren ausgestrahlte starke Licht besteht fast ganz aus den grünen und gelben Strahlen aus der Mitte des Sonnenspectrums, enthält nur äusserst wenig Blau und Orange und weder Rot, noch Violett. ³⁾ Dass das Maximum der Energie dieses Spectrums, gleich dem der Empfindlichkeit des Auges für Strahlen von verschiedener Wellenlänge ein Wenig gegen das Violett zu, an dem der maximalen Energie des Sonnenspectrums vorbei liegt, kann möglicher Weise auch als ein Ueberbleibsel aus der Zeit betrachtet werden, da die grösste Kraft des Spectrums der Sonne Strahlen kleinerer Wellenlänge als in ihrem gegenwärtigen Zustande angehörte.

¹⁾ Mehr als GOETHE selbst ahnte, liegt Wahrheit in dem Spruch:

Wär' nicht das Auge sonnenhaft,
Die Sonne könnt' es nie erblicken.

²⁾ RAPHAEL DUBOIS wies ein ähnliches Verhalten auch an den augenlosen, aber sehr lichtempfindlichen Siphonen der Bohrmuschel nach (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Paris 1889. T. 109. p. 233 sqq. und 320 sqq.*).

³⁾ S. P. LANGLEY and F. W. VERY, *On the cheapest Form of Light. Amer. Journal of Science. 1890. Vol. 40, p. 97—113.*

In der weitesten Ausdehnung finden wir die hier vertretenen Ansichten in der Pflanzenwelt bestätigt.

In ähnlicher Weise, als Folge von Anpassung und Vererbung, wie die Farbenempfindung des Auges, ist, wie mir scheint, die Vorliebe der Natur für Grün im Pflanzenreich zu deuten. Das Spectrum des Chlorophyllfarbstoffes zeigt starke Absorption im Blau und Violett, im Orange und Rot, weniger starke im Gelb, sehr schwache im Grün. Deswegen erscheint uns der Farbstoff in den Pflanzen grün. Das Arbeitsvermögen der von diesem sensibilisatorischen Farbstoffe absorbirten Strahlen wird in Arbeitsvermögen anderer Form umgesetzt und zwar (wie daraus ersichtlich, dass blaue Strahlen bei dem Assimilationsprocess nur verhältnissmässig geringe, gelbe dagegen die stärkste Wirkung haben) nicht nur in der Form chemischer Wirkung, sondern es wird teilweise zu Fluorescenz und Wärme. Während die sich in chemischer Aenderung der Molekeln äussernde Wirkung der Strahlen verschiedener Wellenlänge fast vollkommen der Energie dieser Strahlen entspricht, indem beider Curven, ausser in ihrer Steilheit, nur darin von einander abweichen, dass die der Assimilation etwas nach der roten Seite des Spectrums hin verschoben ist, haben die blauen, die orange und roten Strahlen daneben noch eine bedeutende andere Wirkung auf die Molekeln. — Wie heute die Molekularstructur des die Assimilation vermittelnden Chromophylls sich dem Lichte einer gelben Sonne angepasst hat, so hatte sie — wenn die in dieser Arbeit niedergelegten Ansichten richtig sind — sich einst auch dem Lichte einer Sonne, die reich war an blauen und violetten Strahlen, und einer Sonne mit überwiegenden orange und roten Strahlen angepasst, und es liegt auf der Hand die starke Extinction gerade dieser unter den gegenwärtigen Sonnenstrahlen als Nachklänge, und ihre heutige Wirkungen als physiologische Homologien der

Assimilationsprocesse aus jenen Zeiten zu betrachten. Die assimilirende Wirkung muss stets auch mit Extinction Hand in Hand gehen, ¹⁾ und so kann man sich vorstellen, wie durch eine geringfügige Aenderung der Molekularstructur, anstatt chemischer Wirkung, Arbeit in anderer Form geleistet wird und dass also als jene abnahm die betreffenden Strahlen der Extinction, aber nun durch Fluorescenz und Wärme, unterworfen blieben. Im Orange scheint dieser Abänderungsprocess noch im Fortgange begriffen, und als physiologisches Rudiment ist dann wieder die relativ starke assimilirende Wirkung der orange Strahlen aufzufassen, hier auf der anderen Seite als bei der Farbenempfindung nachgeblieben, wol weil hier die Anpassungsfähigkeit, beim Auge die Vererbung am Meisten zur Geltung kam. Während des unermesslich langen Zeitraumes, da die specifisch chemischen blauen Strahlen die vorherrschenden waren, muss die Anpassung an diese sehr vollkommen und eng, und ihre assimilirende Wirkung sehr kräftig geworden sein, und in der Uebergangszeit zum gelben Stadium der Sonne, wo die blauen Strahlen immer noch sehr reichlich vorhanden waren, wird diese Anpassung sich lange erhalten haben, in ähnlicher Weise wie heute die an die orange Strahlen. Aber wegen ihrer Vollkommenheit und der starken Wirkung der betreffenden Strahlen würde Anpassung an die damals vorherrschenden Strahlen zwischen Blau und Gelb ohne

¹⁾ Dem DRAPER-VOGELSchen „photochemischen Absorptionsgesetz“ zufolge welches besagt, dass nur diejenigen Strahlen chemisch auf einen Körper wirken, welche von demselben, resp. dem optischen Sensibilisator, verschluckt werden. (H. W. VOGEL, Handbuch der Photographie. 1. Theil 4^{te} Auflage. Berlin 1890, p. 58, und: J. M. Eder, Die chemischen Wirkungen des Lichtes. Halle 1891, p. 153). TH. W. ENGELMANN (Farbe und Assimilation. Botanische Zeitung. 61. 1883) bewies dessen Gültigkeit speciell auch für den Assimilationsprocess.

Nutzen gewesen sein und demzufolge ist diese nie in merklicher Weise zu Stande gekommen.

In diesem Zusammenhange betrachtet, verdankt die Jetztwelt auch die schöne Smaragdfarbe von Floras Kleide jenen grossen Aenderungen der Sonnenstrahlung.¹⁾

Ganz sicher scheint mir der Zusammenhang derselben mit einer grossen morphologischen Veränderung der Pflanzenwelt zu sein.

Die wichtigsten Pflanzenformen des palaeozoischen Zeitalters: die Calamiten, Lepidodendren, Sigillarien, sowie die Equisetaceen, Baumfarne, Cycadeen und Coniferen der mesozoischen Periode, waren alle spärlich verzweigt und besaßen Blätter von geringer gesammter Flächenausdehnung, ebenso wie alle existirenden niedrigeren (d. h. altypischen) Chlorophyllpflanzen. Unter den Angiospermen haben auch die, nach TREUB's schöner Arbeit²⁾ mit den Mono- und Dicotylen zusammen (Porogamen) gleichwertigen, und demnach schon aus früher mesozoischen Zeit stammenden Casuarinaceen (Chalazogamen) nur sehr ärmlich entwickelte Assimilationsorgane. Wol existirten bereits zur Kreidezeit und selbst im Jura Pflanzen mit reichlicher Verästelung und ausgedehnterer Gesammtfläche der Blattspreiten, Dicotylen, aber sie machten damals von der Vegetation der Erde nur einen sehr bescheidenen Anteil aus. Erst seit der Tertiärzeit drängen sie, von dem Nordpole, ihrem Entwicklungscentrum, ausgehend, die

¹⁾ Auch giebt sich der rote Farbenton der jungen Laubblätter vieler Pflanzen wahrscheinlich als der vorübergehende und unvollkommen ererbte Zustand der Präglacialzeit kund. Der rote Farbstoff beteiligt sich jetzt nicht mehr an der Stärkebildung, wie aber aus chemischen Versuchen, die Herr JOH. HUBER freundlichst für mich anstellte, hervorzugehen scheint, wol an der Zuckerbildung.

²⁾ M. TREUB, Sur les Casuarinées et leur place dans le système naturel. Annales du Jardin botanique de Buitenzorg. Vol. X. Batavia 1891, p. 145—231, 21 Taf.

übrigen Pflanzenklassen ganz in den Hintergrund. Es ist diese geringe Flächenausdehnung der Blätter der vortertiären Chlorophyllpflanzen wol nur durch die relativ kräftigere Assimilation zu erklären, denn ein reichlicherer Kohlensäuregehalt der Atmosphäre kann heute nicht mehr ernstlich discutirt werden, gesteigerte Verdunstung war bei den feuchten Klimaten jener Perioden sicher nicht vorhanden, und gewiss wäre diese einfache Anpassung bei für das Leben so hochwichtigen Organen schon lange vor der Tertiärzeit in der Pflanzendecke der Erde zu Stande gekommen, wenn sie notwendig gewesen wäre.

So zeigt sich denn in der Geschichte der Pflanzenwelt, wie in der der Tierwelt ¹⁾ die grossartige Wirkung jener Einschränkung der unserem Planeten gespendeten Sonnenenergie und sehen wir gerade diese Kargheit der Sonne die Veranlassung werden zur Ausbildung der vollkommensten und höchsten Lebensformen. Seine ganze Entwicklungsgeschichte aber, schrieb das glänzende Gestirn des Tages in jedes grüne Laubblatt und in den Gesichtssinn der Tiere.

¹⁾ Vgl. namentlich Seite 29—30.

