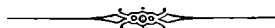


Die
Entstehung der Eiszeiten.

Von Dr. Fr. Nölke.

Sonderabdruck
aus den
„Deutschen Geographischen Blättern“,
Band XXXII, 1909.



Die Entstehung der Eiszeiten.

Von Dr. **Fr. Nölke** (Bremen).

Es gibt wohl keine Epoche in der Entwicklung der Erde, welcher von Seiten der Geologen, der Biologen und besonders der Anthropologen so viel Interesse entgegengebracht wird, wie der Eiszeit. In der Tat bietet diese Periode der Erdgeschichte auch eine solche Fülle von merkwürdigen Erscheinungen, daß in neuerer Zeit nicht nur von den Fachgelehrten in Büchern und wissenschaftlichen Zeitschriften das Problem oft und eingehend erörtert wird, sondern daß sich sogar die Tageszeitungen der Sache annehmen und durch Referate das große Publikum mit dem Gegenstande vertraut zu machen suchen. Dieses allgemeine Interesse erklärt sich wohl zum größten Teile daraus, daß die quartäre Eiszeit mit ihren Wirkungen und Folgeerscheinungen bis in die Gegenwart hineinragt. Der Eiszeit verdanken, da Lehm und Löss glaziale Produkte sind, nicht nur hunderttausende von Menschen den sie ernährenden fruchtbaren Boden und das Material, aus dem sie ihre Häuser bauen, sondern die Eiszeit hat auch, indem sie in dem neuen Bett abgelenkter Flüsse Wasserfälle entstehen ließ, gewaltige Kraftquellen geschaffen, welche der Industrie zu nutze kommen und dem Menschen dadurch das Leben leichter und genussreicher machen. Für den denkenden Menschen endlich, der sich der Segnungen der Kultur nicht erfreut, ohne sich dankbar seiner Vorfahren zu erinnern, deren geistige und körperliche Arbeit ihn zu der Stufe emporgehoben hat, auf der er steht, gewinnt die Eiszeit noch eine andere Bedeutung. Bekanntlich ist durch zahlreiche Funde festgestellt, daß der Mensch zur Eiszeit bereits die Erde bewohnte und auf ziemlich hoher Kulturstufe stand; aus vorglazialer Zeit aber sind nur dürftige Spuren von ihm vorhanden. Hieraus darf geschlossen werden, daß sich der Mensch in verhältnismäßig kurzer Zeit von niederen zu

höheren Entwicklungsstufen emporgeschwungen hat. Diese auffällige Erscheinung erklärt sich vielleicht auf folgende Weise. Das warme, paradiesische Klima der Tertiärzeit bot dem Menschen wahrscheinlich alles, was er zum Leben bedurfte, in größter Fülle. Als er aber nach Einbruch der Eiszeit harte Entbehrungen ertragen mußte und nur durch Mühe und Arbeit sein Leben fristen konnte, rettete ihn die Natur dadurch vor dem Untergange, daß sie seine geistigen Kräfte anspannte und ihn Erfindungen machen liefs, mit deren Hülfe es ihm gelang, den erschwerten Kampf ums Dasein siegreich durchzukämpfen. Sie liefs ihn, zum Schutze gegen die Kälte, Hüllen für den nackten Körper suchen, liefs ihn Waffen erfinden, mit denen er Tieren zu Leibe gehen konnte, die für ihn sonst unüberwindlich gewesen wären, ja sie förderte seine geistige Entwicklung sogar bis zu dem Punkte, wo der Kunsttrieb erwachte, was durch ausgezeichnete Skizzen eiszeitlicher Tiere, die in einer Höhle Frankreichs aufgefunden sind, bestätigt worden ist. Ohne die Eiszeit wäre der Mensch wahrscheinlich noch längst nicht auf der Kulturstufe angelangt, wo er sich jetzt befindet. Dieses kulturgeschichtliche Moment erhöht das Interesse, auf das die Eiszeit in geologischer Hinsicht Anspruch machen darf, ohne Zweifel um ein Bedeutendes.

I. Übersicht über die alten Theorien.

Die Aufgabe dieses Aufsatzes soll nicht darin bestehen, die Phänomene der Eiszeit, wie z. B. die Verbreitung und Mächtigkeit des Eises, Abtragung der Gebirge, Austiefung der Täler, Bildung von Moränen, Sand und Geschiebelehen etc. zu behandeln, sondern wir wollen über die physikalischen Ursachen zur Klarheit zu kommen suchen, welche zur Entstehung dieser eigenartigen Periode der Erdgeschichte führten. Man hat viele Vermutungen aufgestellt, viele Erklärungen konstruiert; aber merkwürdigerweise ist bis jetzt keine vorhanden, die billigen Ansprüchen gerecht würde, und es ist mehrfach ausgesprochen worden, daß wir über die Ursachen der Eiszeit, allen Erklärungsversuchen zum Trotze, noch völlig im Ungewissen seien. Ich werde alle mir bekannt gewordenen Theorien über die Eiszeit vorführen. Falls sich bei der Besprechung derselben ergibt, daß die Entstehung der Eiszeiten tatsächlich ein noch ungelöstes Problem ist, so wird es der Leser sicherlich nicht für überflüssig halten, wenn ich am Schlusse des Aufsatzes in kurzen Zügen eine neue Theorie vorführe, auf welche ich selbst verfallen bin, und die ich nach allen Seiten hin gründlich diskutiert habe.

a) Theorien, die nicht auf der Annahme einer Temperaturerniedrigung beruhen.

1. Annahme einer Temperaturerhöhung.

Allgemein wird zugestanden, daß Änderungen des Klimas eintreten mußten, wenn eine Eiszeit entstehen sollte. Aber dies ist auch fast das einzige, worin alle Erklärungen übereinstimmen. Schon bei der genaueren Bestimmung der Art der klimatischen Änderungen weichen sie beträchtlich voneinander ab. Meistens wird angenommen, daß die gewaltigen Eismassen, welche zur Eiszeit große Gebiete der Erdoberfläche bedeckten, nur bei einer niedrigeren durchschnittlichen Jahrestemperatur entstehen konnten. Allein es sind auch Stimmen laut geworden, welche diese Annahme für unberechtigt halten und, so wunderlich es auch erscheinen mag, die Behauptung aufstellten, daß die Eiszeit durch eine Erhöhung der Lufttemperatur verursacht worden sei. Zu den Verteidigern der letzten Ansicht gehört z. B. Dubois und Geinitz. Dubois schreibt, der für die Bildung ausgedehnter Gletscher notwendige große Schneefall verlange eine größere Feuchtigkeit der Luft, also eine größere Verdunstung und folglich ein wärmeres Klima. Wenn auch der totale Schneefall durch ein wärmeres Klima verringert werde, so könne doch in Polargegenden und auf hohen Gebirgen auch bei wärmerem Klima ein größerer Schneefall eintreten. Geinitz sagt: „Ob zur Erreichung einer Eiszeit Temperaturerniedrigung als erster Grund anzunehmen sei, erscheint noch fraglich. Wir fassen die Eiszeit nicht als eine allgemeine Kälteperiode auf, sondern meinen, daß sowohl zu Anfang, wie unmittelbar am Schlusse derselben, zum Teil auch noch während der Eiszeit, auf der Erde das gegenwärtige, zum Teil sogar ein etwas wärmeres Allgemeinklima als das heutige geherrscht hat.“ Der Geologe Koken schreibt: „Das Anschwellen der Gletscher während der ersten Phase der Eiszeit bedeutet nicht notwendig einen Rückgang der mittleren Temperatur. Es bedarf nur eines geringen Sinkens der Temperatur bei hohem Wassergehalt der Atmosphäre, um die Ansammlung kolossaler Eismassen einzuleiten.“ — Die genannten Forscher führen hiernach die Entstehung der Eismassen auf einen größeren Wasserdampfgehalt der Atmosphäre und diesen wieder auf eine höhere Lufttemperatur zurück.

Wenn wir beurteilen wollen, ob diese Schlusfolgerung richtig ist, müssen wir uns zuerst darüber klar werden, woher die zu Niederschlägen sich verdichtenden Wasserdampfmassen stammen. Entweder entstehen sie größtenteils in der Nähe derjenigen

Länder, in welchen sie als Schneemassen zur Erde kommen, oder sie werden aus entlegenen Ländern durch Wasser- und Luftströmungen herbeigeführt. Wenn sich im ersten Falle die Niederschläge vergrößern sollen, so muß also auch die Verdunstung auf den angrenzenden Meeren zunehmen, und dies ist allerdings, da benachbarte Länder und Meere pro Flächeneinheit ungefähr dieselbe Wärmemenge von der Sonne empfangen, nur durch eine Vergrößerung der zugeführten Wärmemenge möglich. In diesem Falle ist die Schlusfolgerung also richtig. Wenn die Wasserdämpfe aber nicht größtenteils aus den benachbarten Gebieten, sondern aus äquatorealen Breiten stammen, so wird der Schluß unrichtig. Tragen die Winde aus niederen Breiten mehr Wasserdämpfe herbei, so muß in diesen Gegenden die Verdunstung zwar gesteigert werden, ihre Temperatur sich also erhöhen. Da aber bei der Kondensation von Wasserdampf zu Wasser in jedem Gramm über 500 Grammkalorien und beim Gefrieren noch einmal 80 Grammkalorien frei werden, so bringen diese Wasserdämpfe in die höheren Breiten, wo sie sich niederschlagen, jetzt mehr Wärme als früher, und diese bei der Kondensation frei werdende größere Wärmemenge bewirkt, daß die Niederschläge größtenteils als Regen, nicht als Schnee zur Erde kommen. Auch auf den Gebirgserhebungen wird weniger Schnee fallen als früher, da die aus dem Mehrbetrag der Wasserdämpfe entstehende Kondensationswärme einen Teil des früher zu Schnee gefrierenden Wasserdampfes am Gefrieren verhindert. Wenn trotzdem größere Schneemassen fallen sollen, so muß also in den höheren Breiten die Durchschnittstemperatur sinken. Die einzige physikalische Erklärung, welche eine Temperaturerhöhung der niederen Breiten und eine gleichzeitige Temperaturniedrigung der höheren Breiten verständlich machen würde, beruht nun auf der Annahme, daß sich die Schiefe der Ekliptik verringert habe. Im diesem Falle empfangen nämlich die niederen Breiten mehr, die höheren weniger Wärme von der Sonne; die Grenze liegt bei der gegenwärtigen Ekliptikschiefe bei 43° .

Nimmt die Ekliptikschiefe α um den Wert α^1 ab, so erkennt man leicht, daß die einem außerhalb dieser Grenze in der Breite $\varphi - \alpha^1$ liegenden Orte A zufließende Wärmemenge größer ist als die Wärmemenge eines Ortes B, der bei der ursprünglichen Ekliptikschiefe α in der Breite φ liegt. Denn am längsten Sommertage ist für beide Orte die Mittagshöhe der Sonne dieselbe, nämlich gleich $90^{\circ} + \alpha - \varphi$; am kürzesten Wintertage ist sie aber für den Ort A um $2 \alpha^1$ größer als für den Ort B. Der Sommer würde also

in beiden Orten ungefähr gleich warm, der Winter in A jedoch milder als in B sein. Nun schwankt die Schiefe der Ekliptik nach astronomischen Berechnungen innerhalb des kleinen Intervalls von 7° ; der geringste Wert ist ungefähr 20° . Nach dem oben Gesagten ist der Wärmeverlust, den ein Ort in mehr als 43° Breite bei diesem Werte der Ekliptikschiefe erleidet, geringer, als wenn er bei $23\frac{1}{2}^{\circ}$ Ekliptikschiefe dem Pole um $3\frac{1}{2}^{\circ}$ näher läge. Nun zeigt eine Temperaturkarte der Erde, daß die mittlere Jahrestemperatur nach den Polen hin für jeden Breitengrad durchschnittlich um nicht ganz $\frac{1}{2}$ Celsiusgrad abnimmt. Der Breitendifferenz von $3\frac{1}{2}^{\circ}$ entspricht also eine Temperaturdifferenz von noch nicht $1\frac{3}{4}^{\circ}$ C; doch wird dieser Wert erst an den Polen selbst erreicht; für geringere Breiten ist die Temperaturdifferenz kleiner und gleich 0 in 43° Breite. Nun sind aber, um ein Vorrücken der Schneegrenze zur Eiszeit um rund 1000 m zu bewirken, Temperaturdifferenzen von 5 bis 6° erforderlich. Die angegebene Differenz, die erst an den Polen im Maximum $1\frac{3}{4}^{\circ}$ C beträgt, und übrigens durch die aus dem Mehrbetrag der nach den Polargegenden strömenden Wasserdämpfe entstehende Kondensationswärme auf einen noch geringeren Betrag reduziert wird, reicht also längst nicht aus, die Eiszeitphänomene hervorzurufen. Hieraus folgt, daß, wenn die in den arktischen Gegenden fallenden Niederschläge größtenteils aus niederen Breiten stammen, die Theorie nicht weiter diskutierbar ist.

Wie liegen nun die Verhältnisse auf der Erdoberfläche? Ist die erste Annahme, daß die zu Niederschlägen sich verdichtenden Wasserdampfmengen aus der Nähe, oder die zweite, daß sie aus der Ferne stammen, richtig? Das erste trifft ohne Zweifel für die tropischen Breiten zu, aber nicht mehr für höhere Breiten. Es ist bekannt, daß die Wasserdampfmassen, welche über dem ganzen westlichen Europa als Regen und Schnee niederfallen, durch Westwinde vom Golfstrom uns zugeführt werden. Der Golfstrom hat aber seine warmen Wassermassen in tropischen Meeren gesammelt. Die Niederschläge, welche im östlichen Nordamerika und in Südgrönland fallen, stammen ebenfalls größtenteils von den Wassern des Golfstroms. Etwas Ähnliches läßt sich von den Randlandschaften des nördlichen stillen Ozeans sagen; die Niederschläge werden ihnen durch die Kuro-Schiwo-Trift aus äquatorealen Breiten zugeführt. Endlich sind die geringen Niederschläge, welche in den arktischen Gebieten Asiens, Nordamerikas und in Nordgrönland fallen, auch nicht durch Verdunstung von Wassermengen

des arktischen Meeres entstanden. Der größte Teil desselben ist gegenwärtig auch im Sommer mit Eis bedeckt. Nur der Golfstrom reißt nördlich von Europa eine große Lücke hinein; aber nördlich von Asien und Amerika zieht sich in verhältnismäßig geringem Abstände von der Küste eine feste Eisbarriere hin. Zur Glazialzeit war die Eisfläche ohne Zweifel ausgedehnter als jetzt. Nach Beobachtungen de Geer's konnten z. B. die Gletscher Spitzbergens nach Südosten keinen genügenden Abfluß finden, vermutlich weil mächtige Packeismassen hier die Insel umschlossen. Die eigenartige Ablenkung, welche die schottischen Gletscher durch den skandinavischen Eisstrom erfuhren, lassen sogar darauf schließen, daß der ganze nördliche Teil des atlantischen Ozeans vereist war. Wir werden daher kaum fehl gehen, wenn wir annehmen, daß das arktische Meer vollständig von einer aus Gletscher- oder Packeis bestehenden Eisdecke überzogen war und daher keine Wassermassen zur Verdunstung bringen konnte; der zu den ungeheuren glazialen Schneemassen sich verdichtende Wasserdampf mußte also den höheren Breiten aus den niederen zufließen. Dann aber ist, nach unserer Auseinandersetzung, die Folgerung, daß eine Erhöhung der Lufttemperatur zu der Vergrößerung der glazialen Niederschläge geführt habe, unrichtig. Hiermit ist die Hypothese der genannten Forscher hinfällig geworden.

2. Annahme größerer Wasserflächen.

Um den größeren Wasserdampfgehalt der Atmosphäre zur Eiszeit zu erklären, hat man noch andere Theorien aufgestellt. Z. B. ist angenommen worden, daß die Ozeane größer gewesen seien und daher mehr Wasser hätten verdunsten lassen können. Diese Annahme ist aber nicht zulässig, da die Erdteile zur Eiszeit ungefähr schon in ihrer gegenwärtigen Größe bestanden und vielleicht sogar noch umfangreicher waren als jetzt, außerdem auch, wie bereits bemerkt wurde, große Meeresflächen durch die Eisbedeckung der Verdunstung entzogen wurden.

Der Kuriosität halber möge hier noch eine Erklärung Erwähnung finden, die deutlich zeigt, in welche Sackgassen sich der Mensch verrennen kann, dem bei gelehrtenhaften Grübeleien der Sinne für die praktische Brauchbarkeit derselben getrübt worden ist. Schmick versucht nachzuweisen, daß auf derjenigen Erdhalbkugel, die zur Zeit der Sonnennähe der Sonne zugewendet ist, infolge der etwas größeren Anziehung, welche die Sonne auf die Wassermassen ihrer Ozeane ausübt, der Wasserspiegel

derselben sich hebe, die Küste also teilweise überflutet werde und die dadurch hervorgerufene Klimaänderung eine Eiszeit herbeiführen könne. Die Rechnung zeigt, daß der Wasserspiegel der Ozeane auf der betreffenden Erdhalbkugel um ungefähr 4 cm steige und dadurch an den Küsten im ganzen höchstens einige 100 qkm unter Wasser gesetzt werden. Wenn die Überflutung dieser paar Quadratkilometer eine Eiszeit herbeiführen könnte, so würden einige holländische Großgrundbesitzer, denen es einfallen sollte, ihre Besitzungen unter Wasser zu setzen, der nördlichen Halbkugel eine Eiszeit bescheren.

3. Annahme vulkanischer Ausbrüche.

Eine andere Annahme führt die grösseren Mengen atmosphärischen Wasserdampfes auf vulkanische Ausbrüche zurück; zu derselben bekennt sich z. B. de Marchi, Charpentier, Hunt, Taramelli. Daß auch diese Annahme unhaltbar sei, geht aus folgendem hervor. In Europa und Nordamerika waren rund 25 Millionen qkm vergletschert. Nimmt man die Dicke der Eismassen durchschnittlich zu $1\frac{1}{2}$ km*) an, so berechnet sich der Inhalt der Eismassen zu rund 40 Millionen ckm. Rechnet man die auf dem Eismeere lagernden und die antarktischen Gletschermassen hinzu, so dürfte der gesamte Kubikinhalt der glazialen Eismassen mit 100 Millionen ckm nicht zu hoch angegeben sein. Entstanden diese Eismassen aus Wasserdampf, so wurde bei der Kondensation desselben Wärme frei. Diese kann jedoch, da durch die Entspannung**) des Wasserdampfes eine Ausdehnung und infolge derselben, den Gesetzen der Wärmelehre gemäß, eine Abkühlung des Dampfes eintrat, nicht einfach als Kondensationswärme bestimmt werden. Da die Ausdehnung in sehr kurzer Zeit vor sich ging, so darf die Temperaturänderung als eine adiabatische betrachtet werden. Die Dichte y_0 des komprimierten Dampfes kann höchstens der Dichte des Wassers gleichkommen. Die Dichte y bei 1 Atmosphäre Druck ist 0,0008 der Dichte des Wassers. Setzt man diese Werte in die adiabatische Formel

$$\frac{\vartheta}{\vartheta_0} = \left(\frac{y}{y_0} \right)^{0,41},$$

so erhält man $\vartheta_0 = 19\vartheta$. Nimmt man die Temperatur der vulkanischen Eruptionsmassen zu 2000° C abs. an, so wird also ϑ ungefähr gleich 105° C abs., oder gleich -170° C. Natürlich wird

*) Anmerkung: Amerikanische Geologen schätzen sie auf mehr als das doppelte.

**) Anmerkung: In der Erde betrug der Druck Hunderte von Atmosphären, nach dem Ausbruche aber nur noch eine Atmosphäre.

sich der Wasserdampf nicht bis -170° C abkühlen, sondern bei $+100^{\circ}$ C anfangen, sich teilweise zu Wasser zu verdichten; die dabei freiwerdende Wärme hindert dann den übrigbleibenden Teil des Wasserdampfes an der weiteren Abkühlung und an der Kondensation. Um 1 g Dampf von -170° bis $+100^{\circ}$ C zu erwärmen, sind, da die spezifische Wärme des Dampfes bei konstantem Druck 0,47 beträgt, $0,47 \cdot 270 = 127$ Kalorien erforderlich. Da aber 1 g Dampf bei der Kondensation 527 Kalorien abgibt, so braucht nur ungefähr $\frac{1}{4}$ des gesamten Wasserdampfes sich in Wasser zu verwandeln, um den übrigen Dampf auf die Temperatur 100° C zu bringen. Jedes g dieses 100° warmen Wasserdampfes gibt dann bei der Kondensation 527 Kalorien, ferner als Wasser bei der Abkühlung von 100° auf 0° C 100 Kalorien und endlich noch beim Gefrieren 80, im ganzen also über 700 Kalorien ab. Hiernach würde die bei der Entstehung der glazialen Gletschermassen frei werdende Wärme hingereicht haben, um die gesamte Wassermenge sämtlicher Ozeane um 30° und die Luftmasse der Erde sogar um rund $40\,000^{\circ}$ C zu erwärmen. Diese Zahlen bedürfen keines Kommentars.

Es läßt sich noch ein anderer Grund gegen die Richtigkeit der Hypothese anführen. Der Kubikinhalte sämtlicher Erdteile beträgt, vom Meeresspiegel aus gerechnet, ungefähr 90 Millionen ckm, ist also fast so groß, wie der Inhalt des glazialen Eises. Da der Wasserdampf, aus dem es entstand, wenigstens denselben Raum einnahm, so mußten nach Ausbruch der Dampfmassen im Innern der Erde ungeheure Hohlräume und beim Zusammenstürzen derselben auf der Erdoberfläche gewaltige Verwerfungen entstehen. Nun sind allerdings kleinere Dislokationen während der Eiszeit nachweisbar; aber solche von größerer Ausdehnung sind nirgends vorhanden. Endlich läßt sich noch einwenden, daß zu Beginn und während der Eiszeit außergewöhnliche vulkanische Ausbrüche, welche die erforderlichen Wasserdämpfe geliefert haben könnten, nicht stattgefunden haben. Die großartige vulkanische Tätigkeit, welche in der mittleren Tertiärzeit, besonders im Miozän, die Erdoberfläche vielfach umgestaltete, kann nicht mehr, wie es z. B. von de Marchi geschehen ist, zur Erklärung herangezogen werden, da sie von der Eiszeit durch das ganze Pliozän, also einen Zeitraum von vielleicht Hunderttausenden von Jahren, getrennt ist.

Gugenhan, der kürzlich ein Buch „Die Vergletscherung der Erde von Pol zu Pol“ veröffentlichte, ist der Meinung, daß

die bei vulkanischen Eruptionen ausgestoßenen Gasmassen durch Saugwirkung die unteren Schichten der Atmosphäre mit sich gerissen, daß diese bei ihrem Emporsteigen, den Gesetzen der mechanischen Wärmelehre gemäß, sich abgekühlt und den mitgeführten Wasserdampf in großen Mengen als Schnee fallen gelassen hätten. Auch diese Hypothese besitzt, ganz abgesehen davon, daß, wie gesagt, am Anfange der Eiszeit große vulkanische Eruptionen nicht stattgefunden haben, geringen Anspruch auf Wahrscheinlichkeit. Denn bis jetzt ist noch nicht beobachtet worden, daß es infolge eines vulkanischen Ausbruches geschneit hätte, und angenommen auch, dies sei bei sehr heftigen Ausbrüchen der Fall, so würde doch, selbst wenn alle vulkanischen Ausbrüche der Tertiärzeit in demselben Augenblicke stattgefunden hätten, höchstens ein kritischer Tag erster Ordnung zu verzeichnen gewesen, aber keine Eiszeit von Jahrtausendlanger Dauer eingeleitet worden sein.

4. Annahme größerer Gebirgshöhen.

Von den meisten Anhängern der in Rede stehenden Theorien wird nun ferner angenommen, daß die Höhe der Gebirge, die zur Zeit ihrer Entstehung beträchtlicher war als gegenwärtig, bei der Bildung der Gletscher von Einfluß gewesen sei. Man hat z. B. darauf hingewiesen, daß Sibirien trotz seiner geringen mittleren Jahrestemperatur deswegen nicht vereist sei, weil es ihm an Hochgebirgen fehle, auf welchen sich die Schneemassen anhäufen könnten, und von denen aus sie dann als Gletscher sich über das ganze Land ausbreiten würden, während im Gegensatze hierzu Neu-Seeland, trotz seiner weit milderen Jahrestemperatur, ausgedehnte Gletscher habe und diese seinen Hochgebirgen verdanke. Dies ist offenbar richtig; trotzdem läßt sich die Entstehung der glazialen Gletscher nicht auf die angegebene Weise erklären. Ein Blick auf eine Temperatur- und Regenkarte der Erde zeigt, daß in der Umgebung des 60. Breitengrades die pazifische Küste Nordamerikas ungefähr dieselben Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse aufweist wie das unter gleicher Breite liegende Skandinavien. Die Kordilleren sind an dieser Stelle zum Teil $2\frac{1}{2}$ mal so hoch als die skandinavischen Gebirge; trotzdem weisen sie keine längeren Gletscherströme als die skandinavischen, sondern nur mit ihrer Höhe im Verhältnis stehende größere Gletscherflächen und Firnfelder auf. Will man nun vielleicht, um die weitere Erstreckung der Gletscher zu erklären, zur Eiszeit wieder einen größeren Wasserdampfgehalt der Atmosphäre voraussetzen, so braucht nur auf den Himalaya hingewiesen zu werden. Obgleich der Südrand desselben

eines der regenreichsten Gebiete der Erde ist, liegt die Schneegrenze hier nur 350 m niedriger als auf der niederschlagsärmeren Nordseite. Es reicht also auch die Annahme einer größeren Höhe der Gebirge während der Eiszeit nicht aus, um die Entstehung der Gletschermassen zu erklären.

5. Annahme veränderter Luftströmungen.

Harmer führt die Änderungen des Klimas auf Änderungen der herrschenden Winde zurück. Er redet von meteorologischen Störungen, welche von tektonischen Bewegungen, wie Hebung und Senkung, hervorgerufen sein könnten. Zwar ist es richtig, daß eine andere Verteilung von Wasser und Land Einfluß auf die Richtung der Winde haben muß; aber wenn Harmer postuliert, daß die Kontinentalgebiete der Eiszeit während des ganzen Jahres anticyklonisch waren, während sie es jetzt nur im Winter sind, so sucht man vergeblich nach einer Begründung dieser merkwürdigen Behauptung. Es läßt sich allerdings nicht bestreiten, daß die mit Eis bedeckten Länder infolge ihrer niedrigen Lufttemperatur Gebiete hohen Luftdrucks waren; aber Harmer kehrt das Verhältnis um; er setzt die Ursache für die Wirkung.

6. Annahme lokaler Ursachen.

Endlich hat man noch den Versuch gemacht, die Entstehung der Eiszeit auf lokale Ursachen zurückzuführen. Als die Spuren derselben zunächst nur in Europa nachgewiesen waren, stellte man die Vermutung auf, das kältere Klima Europas sei vielleicht durch ein großes, an der Stelle der Wüste Sahara befindliches Meer verursacht worden. Es steht jedoch fest, daß Nordafrika seit der Tertiärzeit keine Meeresüberflutung erlitten hat. Andere, z. B. Hopkins, wiesen auf die Möglichkeit hin, daß der Golfstrom eine andere Richtung gehabt haben könnte. Aber alle diese Erklärungen, auch diejenige von Lyell, welche merkwürdigerweise neuerdings wieder Anhänger gefunden hat, daß Meer und Land anders verteilt gewesen und daher die Verschiebung der barometrischen Maxima und Minima nach anderen Gesetzen erfolgt sei als gegenwärtig, brauchen nicht mehr ernst genommen zu werden; denn einmal kann man für diese Annahmen keine tatsächlichen Anhaltspunkte nachweisen, und dann deuten auch alle Anzeichen darauf hin, daß die eiszeitliche Vergletscherung nicht lokaler Natur war. Finden sich doch ihre Spuren nicht nur auf der nördlichen Halbkugel, sondern auch auf der südlichen und sogar in den äquatorealen Breiten!

b) Theorien, die auf der Annahme einer Temperaturerniedrigung beruhen.

Damit hätten wir sämtliche Erklärungsversuche, welche nicht von der Annahme ausgehen, daß eine allgemeine Abkühlung des Klimas während der Eiszeit stattgefunden habe, als unhaltbar nachgewiesen. Es bleiben noch diejenigen zu besprechen, welche von der Annahme eines allgemeinen Sinkens der Temperatur ausgehen und sich dadurch unterscheiden, daß sie für das Sinken eine verschiedene Ursache angeben. Man teilt diese Erklärungen gewöhnlich in zwei Gruppen ein, 1) in diejenigen, welche die Temperaturerniedrigung einer tellurischen, und 2) diejenigen, welche sie einer kosmischen Ursache zuschreiben.

α) Tellurische Ursachen.

1. Theorie von Arrhenius.

Unter den Erklärungen der ersten Art hat die Theorie von Arrhenius am meisten Beachtung gefunden. Nach neueren physikalischen Untersuchungen rührt die Absorption, welche die Wärmestrahlung der Sonne in der Erdatmosphäre erleidet, vorwiegend von dem Wasserdampf und der Kohlensäure der Atmosphäre her. Da die in den unteren Atmosphärenschichten erzeugte Wärme um so leichter in den Weltraum ausgestrahlt wird, je weniger Kohlensäure die Atmosphäre enthält, so stellt Arrhenius die Hypothese auf, daß die niedrige Temperatur der Eiszeit eine Folge des geringeren Kohlensäuregehalts der Atmosphäre gewesen sei. Nach ihm genügt eine Verminderung des Kohlensäuregehalts auf die Hälfte des gegenwärtigen Wertes, um eine Verringerung der Durchschnittstemperatur der Atmosphäre um 4° bis 5° , die eine Eiszeit zur Folge haben würde, hervorzurufen. Mehrere Faktoren bewirken nun eine Verringerung der atmosphärischen Kohlensäure: die Pflanzen brauchen sie zu ihrem Wachstum; das Meerwasser absorbiert sie, und Gesteine bilden mit ihrer Hilfe beim Verwittern Karbonate. Aber es entsteht auch eine Vermehrung der Kohlensäure durch die Verwesung organischer Stoffe, durch vulkanische Exhalationen und durch Verbrennung kohlehaltiger Stoffe. Je nachdem nun die Vorgänge der zweiten Art über denjenigen der ersten Art das Übergewicht haben, oder hinter ihnen zurückbleiben, wird sich eine Wärme- oder eine Kälteperiode auf der Erde ausbilden.

An der Richtigkeit dieser Angaben läßt sich nicht zweifeln; es fragt sich nur, ob Anhaltspunkte vorliegen, aus denen eine Verringerung der atmosphärischen Kohlensäure beim Einbruche der

Eiszeit geschlossen werden könnte. Es ist bereits von berufener Seite gründlich erörtert worden, daß dies nicht der Fall sei. Hier mag es genügen, folgende Überlegung anzustellen. Die Menge der Kohlensäure, welche die menschliche Industrie jährlich der Atmosphäre zuführt, beläuft sich, wenn man die gesamte jährliche Kohlenförderung der letzten Zeit zu 1000 Millionen Tonnen anschlägt, auf ungefähr 4000 Millionen Tonnen. In der ganzen Atmosphäre sind rund $2\frac{1}{2}$ Billionen Tonnen Kohlensäure enthalten. In einem Jahre würde hiernach der Mensch durch Verbrennung der geförderten Kohlen den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre um 0,16 % erhöhen. Wenn nach Arrhenius eine Abnahme des Kohlensäuregehalts um 50 % eine Erniedrigung der Durchschnittstemperatur der Erdoberfläche um 5° hervorruft, so würde die durch den Menschen bewirkte, im Naturlaufe offenbar nicht vorgesehene Vermehrung der atmosphärischen Kohlensäure in jedem Jahre eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur um $0,016^{\circ}$ C. zur Folge haben. Da sich nun bei jedem Grad Temperaturerhöhung die Schneegrenze in den Gebirgen um 175 m aufwärts verschiebt, so würde sie also jährlich um $2,8\text{ m}^*)$ höher steigen müssen. Eine derartige Verschiebung der Schneegrenze ist aber nirgends beobachtet worden. Wir müssen daher annehmen, daß die die Kohlensäure verringernden Faktoren wirksamer werden, besonders die Absorption durch das Meerwasser und der Verbrauch durch die Pflanzen. Zwar ist das Quantum eines Gases, welches eine Flüssigkeit zu absorbieren vermag, nicht von der Menge desselben, sondern von seinem Drucke abhängig, woraus folgen würde, daß, da der Druck unverändert eine Atmosphäre bleibt, die vom Meerwasser absorbierte Kohlensäuremenge unveränderlich sei; aber wenn auch keine größere, so wäre doch eine schnellere Absorption der Kohlensäure durch das Meerwasser sehr wohl denkbar und dadurch zu erklären, daß die Kohlensäure verbrauchenden Meerespflanzen, besonders die Algen, bei den günstigeren Existenzbedingungen sich zahlreicher und kräftiger entwickelten. Wenn sich die Kohlensäureerzeugung verringerte, so würden den Pflanzen die Existenzbedingungen erschwert; sie würden sich spärlicher und kümmerlicher entfalten und in ihrem Wachstum so lange zurückgehen, bis ihr Verbrauch an Kohlensäure dem Zuwachs derselben gleichkäme und wieder ein Gleichgewichtsverhältnis hergestellt wäre. Man kann hiernach die Entstehung der Eiszeit nicht

*) Anmerkung. Dieser Höhendifferenz würde, bei der oft wenig geeigneten Lage der Firnfelder und Gletscher, ein Zurückweichen der Schneegrenze um mehr als das doppelte und dreifache des angegebenen Wertes entsprechen.

durch die Annahme erklären, daß kurz vor Beginn derselben die Pflanzenwelt sich schnell und üppig entwickelt hätte und mit ihrem Mehrverbrauch an Kohlensäure gleichsam über das Ziel hinausgeschossen sei; denn dies ist der Natur zuwider. Die Pflanze wächst nicht, weil es ihr Vergnügen macht zu wachsen, unbekümmert darum, ob die äußeren Umstände ihrem Wachstum günstig sind oder nicht, sondern ihr Wachstum ist ein Produkt der äußeren Verhältnisse. Ebenso wenig wie eine Palme am Polarkreise bei der geringen ihr hier zur Verfügung stehenden Wärme wachsen könnte, ebenso wenig kann eine Pflanze gedeihen, wenn der geringe Kohlensäuregehalt der Atmosphäre ihr die Mittel zum Wachstum verkümmert. Ein Zurückgehen des Kohlensäurezuwachses der Atmosphäre wird sogleich durch einen geringeren Verbrauch der die Kohlensäure absorbierenden Faktoren kompensiert. Hieraus folgt, daß der Kohlensäuregehalt der Atmosphäre keinen großen Schwankungen unterliegen und die Theorie von Arrhenius*) daher als Erklärung der Entstehung der Eiszeit nicht aufrecht erhalten werden kann. Außerdem dürfte der mehrfache Wechsel von Glazial- und Inter-glazialzeiten ihr ein neues Rätsel aufgeben.

2. Annahme von Wasserdampf und Höhenstaub in der Atmosphäre.

Von anderer Seite ist dem Wasserdampf der Atmosphäre die Rolle zugewiesen worden, die bei Arrhenius die Kohlensäure spielt. Wir haben schon vorhin gezeigt, aus welchen Gründen diese Annahme unhaltbar ist. Wieder andere sind der Meinung, daß

*) Anmerkung: Frech versucht nachzuweisen, daß die geologischen Tatsachen die Richtigkeit der Theorie von Arrhenius bestätigen. Er behauptet, daß die durch die gewaltigen paläozoischen Porphy- und Melaphyrdurchbrüche der Atmosphäre zugeführten Kohlensäuremengen das Material geliefert hätten, aus dem sich die Steinkohlenwälder aufbauten, und daß das Wachstum der Braunkohlenwälder der Tertiärzeit in ähnlicher Weise durch die ausgedehnten Basalt-, Trachyt- und Phonolitdurchbrüche im Miocän veranlaßt worden sei. Dies mag man, obgleich die Verhältnisse im Tertiär, wo die großen Ausbrüche im Miocän erfolgten, die Braunkohlen aber im Oberoligozän und Untermiocän lagern, eine kausale Verknüpfung der genannten Ereignisse als fraglich erscheinen lassen, immerhin zugeben; wir bestreiten aber aus den oben dargelegten Gründen ganz entschieden die Folgerung, daß die Steinkohlen- und Braunkohlenwälder den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre so weit zu reduzieren vermochten, daß eine Eiszeit eintreten mußte. Daß die Frechsche Erklärung auf die diluviale Eiszeit keine Anwendung finden könne, erkennt man auch ohne weiteres daraus, daß sie von der Braunkohlenzeit durch das ganze Obermiocän und Pliozän, also durch einen Zeitraum getrennt ist, dessen Länge sich nach vielen Zehntausenden von Jahren mißt.

große Mengen von Höhenstaub zur Eiszeit die Atmosphäre für die Wärmestrahlung der Sonne undurchlässiger gemacht habe. Die Entstehung des Höhenstaubs führen sie auf vulkanische Ausbrüche zurück, die nach Art des großen Krakatauausbruches äußerst feine vulkanische Aschen in große Höhen emporgeschleudert hätten. Aber wir haben schon darauf aufmerksam gemacht, daß vor und während der Eiszeit große vulkanische Eruptionen nicht stattgefunden haben und daß die Eruptionen der mittleren Tertiärzeit von ihr durch einen Zeitraum getrennt sind, der eine kausale Verknüpfung beider Ereignisse illusorisch macht.

3. Annahme wechselnder Ekliptikschiefe.

Nunmehr sollen noch zwei Erklärungen angeführt werden, welche die Entstehung der Eiszeit nicht mehr auf Ursachen, deren Wirkung auf die Oberfläche der Erde beschränkt ist, sondern auf besondere Verhältnisse des ganzen Erdkörpers zurückführen und daher gewissermaßen den Übergang zu den kosmischen Theorien darstellen. Die erste beruft sich auf die Tatsache, daß die wechselnde Schiefe der Ekliptik auf die Temperaturverhältnisse der Erdoberfläche einen Einfluß ausübe, und verlegt die Eiszeiten in die Zeiten geringer Ekliptikschiefe. Daß diese Erklärung nicht haltbar sei, geht bereits aus den Erörterungen auf Seite 4 f. hervor. Auch läßt sie die Entstehung der Glazialphänomene in den äquatorealen Breiten unerklärt.

4. Die Pendulationstheorie von Simroth.

Die zweite Theorie ist die kürzlich von Simroth aufgestellte sog. Pendulationstheorie. Nach Simroth hat die Erdachse im Inneren der Erde keine feste Lage, sondern ihre Pole schwanken in spiralförmiger Pendelbewegung von einer Halbkugel nach der anderen hinüber. Für diese Annahme gibt er nicht, wie es erwartet werden müßte, eine astronomische oder physikalische Demonstration, sondern beruft sich nur auf die biologischen Verhältnisse der Erdoberfläche in der Gegenwart und Vergangenheit. Eine solche Begründung ist nun gänzlich unstatthaft. Wenn auch noch so viele eigenartige Wanderungen der Tiere und Pflanzen stattgefunden haben und die Richtigkeit der Pendulationstheorie zu bezeugen scheinen, so schwebt sie doch so lange gänzlich in der Luft, bis ihr eine physikalische Beglaubigung zu teil geworden ist. Leider behandelt Simroth, der von Beruf Zoologe ist, diesen Punkt als Nebensache. Er glaubt, allein auf biologische Tatsachen sich stützend, der Physik ganz entbehren zu können, und gerät dadurch in die bedauerliche

Lage, sich nachträglich beweisen lassen zu müssen, daß seine Theorie mit den allgemeinen physikalischen Gesetzen nicht in Einklang zu bringen und daher innerlich unmöglich sei.

Das Verhalten der Erde gegenüber der Anziehung der Sonne und des Mondes zeigt, daß, wenn auch das Erdinnere nicht im eigentlichen Sinne als starr zu bezeichnen ist, die dort befindlichen Massen doch physikalisch so reagieren, als ob sie starr wären; es ruft z. B. die Anziehung des Mondes und der Sonne im Erdinnern keine nachweisbare Flutwelle hervor, und ferner stimmt die durch sie bewirkte Präzessionsbewegung der Erdachse mit der unter der Voraussetzung der Starrheit des Erdkörpers berechneten vollkommen überein. Darf die Erde als starr betrachtet werden, so gelten für sie die allgemeinen Gesetze der Kreiselbewegung, und zwar ist sie als ein im Schwerpunkte unterstützter Kreisel aufzufassen. Bei der allgemeinen kräftefreien Kreiselbewegung eines Rotationskörpers beschreibt nun die Rotationsachse um eine im Raume festliegende Gerade eine gleichförmige Kreiskegelbewegung, verschiebt sich aber nicht im Körper, sondern führt diesen mit sich herum [siehe z. B. Kirchhoff, Mechanik, Vorlesung 7, § 3]. Da nach Simroth die Erdachse in der Erde ihre Lage verändert, so kann die Pendulation hiernach keine kräftefreie Bewegung*) sein, d. h. sie kann nicht durch eine zufällige, temporäre Ursache angeregt worden sein, sondern erfordert eine kontinuierlich wirkende Kraft. Damit fällt eine der Erklärungen, welche Simroth für die Entstehung der Pendulation aufgestellt hat und die auf der Annahme beruht, daß ein zweiter Erdmond in weiter Vergangenheit auf die Erde gestürzt sei. Der Aufsturz eines Mondes (oder eines großen Meteors) führt nur zu einer kräftefreien Kreiselbewegung. Wenn die Erdachse vor dem Sturze eine unveränderte Lage im Raume besaß (von der durch die Anziehung des Mondes und der Sonne bewirkten Präzessionsbewegung der Achse wird an dieser Stelle abgesehen), so mußte sie also nach dem Sturze eine kreiskegelförmige Präzessionsbewegung um eine im Raume festliegende Gerade ausführen, ohne sich dabei im Innern des Erdkörpers zu verschieben. Auch die zweite Annahme Simroths, daß die Erde aus einem Spiralnebel hervorgegangen sei, der sich in unser Sonnensystem verirrt hätte und in die Bahn um die Sonne abgelenkt sei, führt nicht zu

*) Anmerkung: Erwähnenswert ist dabei auch, daß die Periode der angegebenen Bewegung der Erdachse ungefähr 300 Tage betragen würde, während die Pendulationstheorie zehntausende von Jahren voraussetzt.

dem gewünschten Ziele. Zunächst würde ein Spiralnebel, der sich in unserem Sonnensystem eingestellt hätte, eine parabolische oder hyperbolische Bahn wie die Kometen, aber keine Kreisbahn wie die Erde beschreiben. Wenn ferner die einander widerstreitenden, ungleich gerichteten Bewegungen der Spiralnebelmassen die bis in die Gegenwart sich fortsetzende Pendulation verursacht hätten, so müßten, wie oben ausgeführt wurde, die Kräfte auch jetzt noch wirksam sein. Für die Annahme, daß auch jetzt noch die Massen im Erdinnern im tollen Durcheinander sich unaufhörlich befänden, sind aber keine Anhaltspunkte vorhanden; die völlig gesetzmäßig vor sich gehende Präzession der Tag- und Nachtgleichen und der in seinem physikalischen Verhalten dem festen nahe kommende Aggregatzustand der Massen des Erdinnern verbieten sogar eine solche Annahme. — Wie wenig Simroth über die astronomischen Verhältnisse*) des Erdkörpers orientiert ist, geht besonders deutlich aus der Rolle hervor, welche die Präzessionsbewegung der Erdachse in der Pendulationstheorie spielt. An der die Präzession hervorbringenden Verschiebung der Erdachse nimmt bekanntlich die ganze Erde teil. Simroth verlegt aber die Verschiebung ins Innere der Erde und gelangt dadurch zu einer ganz irrigen Auffassung der tatsächlich vorliegenden Verhältnisse. Diese falsche Auffassung führt ihn zu der Annahme, daß die Pendulation mit Ausschlägen nach Osten und Westen verbunden und daher genauer als eine spirallige anzusehen sei. Über diesen gänzlich verfehlten Teil der Theorie brauchen wir kein Wort mehr zu verlieren**).

*) Anmerkung: Auch die physikalischen Kenntnisse lassen zu wünschen übrig. Simroth setzt die Zentrifugalkraft dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional und übersieht, daß sie außerdem dem Abstände von der Achse umgekehrt proportional ist (Seite 524).

**) Anmerkung: Die Möglichkeit einer Achsenverschiebung sucht Simroth auch durch den Hinweis auf einen Ausspruch Secchis glaubhaft zu machen. Der Ausspruch lautet: „Wenn die Geologen durch Prüfung der Tatsachen auf einem Gebiete dahin geführt werden, großartige Änderungen der geographischen Breiten auf der Erde vorauszusetzen, so ist die Astronomie weit davon entfernt, ein absolutes Veto einzulegen“. Uns ist nicht bekannt, wie Secchi diese Behauptung begründet. Da sie aber leicht zu übertriebenen Folgerungen verleiten könnte, so wollen wir versuchen, ihre eigentliche Bedeutung zu bestimmen. Secchi war ohne Zweifel weit davon entfernt, die Annahme einer Polverschiebung als berechtigt gelten zu lassen, wenn keine Ursachen dafür angegeben würden. Diese Ursachen könnten innere und äußere sein. Innere Ursachen, welche eine größere Polverschiebung zu bewirken vermöchten, sind jedoch nicht nachweisbar. Die kleinen vorkommenden Störungen (Erdbeben, vulkanische Ausbrüche, Vergrößerung der Eiskalotten an den Polen) bringen

Es verdient noch bemerkt zu werden, daß bei Simroth eigentlich gar nicht die Annahme, die Erdachse verändere ihre Lage in der Erde, zu Grunde liegt, sondern die andere Annahme, daß die Erdachse ungefähr ihre Stellung zur Ekliptik beibehalte und die Erdmasse selbst pendelartig zwischen den festliegenden Polen hin- und herschwanke. Denn wenn die Erdachse bei der Pendulation ihre Stellung zur Erdbahn änderte, so würden ganz andere klimatische Verhältnisse auf der Erdoberfläche entstehen. Bei einer Verringerung der Ekliptikschiefe würden z. B. die Pole mehr Wärme empfangen als gegenwärtig; es könnten sich also in ihrer Umgebung keine größeren Eismassen, vor welchen Tiere und Pflanzen die Flucht ergreifen müßten, ansammeln.

Endlich soll noch auf zwei Punkte hingewiesen werden, welche, auch ohne des Beistandes der Mathematik zu bedürfen, die Unhaltbarkeit der Pendulationstheorie dartun. Die durch die Rotation bewirkte äquatorale Ausbauchung des irdischen Rotationsellipsoids hat eine Dicke von ungefähr 21 km. Welche ungeheuren Umwälzungen tektonischer Art müßte die Erdrinde erleiden, wenn diese 21 km dicke Ausbauchung infolge einer Umlagerung der Erdachse sich auf der Erdoberfläche verschöbe! Derartige große Um-

nur kleine Verschiebungen der Pole hervor, und die Wahrscheinlichkeit dafür, daß sie einmal längere Zeit hindurch in derselben Richtung wirkten, ist gleich Null zu setzen. Die festgestellten geringen Polschwankungen zeigen auch, daß sich die Pole in geschlossenen Kurven um eine mittlere Lage herumbewegen. Von den äußeren Ursachen kommen die Anziehung des Mondes und der Sonne nicht in Frage; denn sie bewirken die bekannte Präzessionsbewegung der Achse. Es bleibt nur die Möglichkeit, daß Gelegenheitsursachen, wie der Fall großer Meteore, eine Polverschiebung hervorbrächten. Nun kann es allerdings keinem Zweifel unterliegen, daß sich die Erde beim Aufstoßen eines Meteors nicht wie ein starrer Körper verhalten und daß sich die Wirkung des Stosses, abgesehen von einer Beschleunigung oder Verzögerung der Rotationsgeschwindigkeit und einer Änderung der Bahnelemente der Erde, nicht nur in einer Präzessionsbewegung der Achse äußern würde; das Meteor wird vielmehr mit der Erdmasse verschmelzen; erdbebenartige Wellen werden den ganzen Erdkörper durchlaufen, miteinander interferieren und sich gegenseitig stören. Aber wenn die einander widerstreitenden Bewegungen sich ausgeglichen haben, was bei der Zähigkeit und Konsistenz der inneren Massen des Erdkörpers ziemlich schnell geschehen muß, nimmt die Rotationsachse wieder eine feste, nur noch der Präzession unterliegende Lage an, und schwankt nicht mehr hin und her. Durch den Fall großer Meteormassen könnte daher wohl eine sprunghafte Verlagerung der Erdachse entstehen, aber niemals eine kontinuierliche pendelartige Schwankung derselben um eine mittlere Lage. — Durch diese Erörterung dürfte der Sinn der Secchischen Bemerkung scharf genug bestimmt worden sein.

wälzungen sind aber während der diluvialen Eiszeit nicht vorgekommen. Ferner ist zu bemerken, daß in der kurzen Zeit, welche die diluviale Eiszeit zurückliegt, (nach Forel und Heim 12 000 bis 16 000 Jahre), die Verschiebung der Pole längst nicht den Betrag erreichen konnte, der erforderlich wäre, um Nordeuropa aus dem Zustande der Vergletscherung in den gegenwärtigen überzuführen. Der von Reibisch für die seit der Eiszeit eingetretene Polverschiebung herausgerechnete Betrag von $3\frac{1}{2}^{\circ}$ (der übrigens viel zu klein ist, siehe Seite 5) würde, auch wenn sich der ganze Pendelausschlag auf 30° — 40° beliefe, mehr als den 12. Teil einer Pendulation ausmachen. Naturgemäfs geht die Pendelbewegung um so langsamer vor sich, je näher sie noch ihrem Anfange steht und je mehr sie sich ihrem Ende nähert. Da sich nach Simroth die Erde jetzt im Anfange einer neuen Pendulation befindet, so würde also aus unseren Zahlenangaben folgen, daß eine ganze Pendelschwankung kaum länger als 100 000 Jahre dauere. Nun haben seit der Zeit der Entstehung der festen Erdrinde nach Simroth im ganzen drei Pendelschwankungen stattgefunden, die mit den grofsen geologischen Perioden der Erdgeschichte zusammenfallen. Es dürfte aber kaum jemand zu finden sein, der das Paläozoikum, das Mesozoikum und die Tertiärzeit auf nicht mehr als 100 000 Jahre einschätzte.*)

β) Kosmische Ursachen.

1. Die Theorien von Poisson und Jäkel.

Wir kommen nun zu den Erklärungen, welche die Entstehung der Eiszeiten auf kosmische Ursachen zurückführen. Nach

*) Anmerkung. Solange einer Theorie der Polverschiebung die physikalische Grundlage fehlt, würde ihr auch dann jede Berechtigung abzusprechen sein, wenn Versteinerungen von Tieren und Pflanzen gefunden werden sollten, die darauf schliessen liefsen, das äquatorale Gebiete zeitweise ein kälteres Klima als nördlich oder südlich von ihnen gelegene Punkte der Erdoberfläche gehabt hätten.

Zunächst ist zu bemerken, daß die klimatischen Verhältnisse, unter denen Pflanzen und Tiere ihr Fortkommen finden, sich nicht scharf bestimmen lassen. Und selbst wenn sich nicht daran zweifeln liefs, daß gewisse Spezies ein kälteres Klima als das gegenwärtige ihres Fundortes erforderten, so würden sich immer noch andere Erklärungen darbieten und das Vorkommen der betreffenden Arten in äquatorialen Breiten vollkommen verständlich machen. Es könnte z. B. auf eine gröfsere Höhenlage ihres Fundortes zur Zeit ihrer Lebensperiode, bei Meertieren auch auf das Vorhandensein von kalten, in gröfsen Tiefen unter der Oberfläche fliefsenden Meeresströmungen zurückgeführt werden. Endlich wäre noch daran zu erinnern, daß die Temperaturverhältnisse eines Landes keineswegs allein von der geographischen Breite, sondern in noch höherem Grade von Meeresströmungen und Winden abhängig sind.

einer von Poisson aufgestellten, aber längst wieder aufgegebenen Vermutung sollte die Temperaturerniedrigung der Eiszeit dadurch verursacht worden sein, daß unser Sonnensystem eine kältere Stelle des Weltraums durchschritten habe*). Daß es kalte und warme Stellen im Weltraum gebe, mutet gewiß etwas merkwürdig an; zu bedenken ist dabei auch, daß der Erde die Wärme nicht von einer etwanigen Materie des Weltraums durch Leitung mitgeteilt wird, sondern daß die Sonne ihre Wärme der Erde durch Strahlung zuführt, ohne den Weltraum zu erwärmen. Nicht viel glaubwürdiger stellt sich eine andere Theorie dar, nach welcher die Sonne durch große kosmische Nebelmassen hindurchgegangen sei, die durch ihren auf die Erdatmosphäre ausgeübten Druck dieselbe verdichtet und sie größerer Erwärmung fähig gemacht hätten. Da die Eiszeiten doch ohne Zweifel Ausnahmestände waren, so müßte sich die Sonne hiernach fast beständig in kosmischen Nebeln aufgehalten und dürfte sie nur für kurze Zeit verlassen haben. Die astronomischen Beobachtungen zeigen jedoch, daß, wenn auch Nebel vorhanden sind, die große Gebiete des Himmels einnehmen, der von Nebeln freie Raum doch bei weitem überwiegt. Außerdem ist die Dichte der großen kosmischen Nebelmassen so gering, daß ihre Druckwirkung auf die Erdatmosphäre gleich 0 gesetzt werden kann. Eine kürzlich von Jäkel aufgestellte Theorie nimmt an, daß die beiden Nebelringe, die, unter Voraussetzung der Richtigkeit der Laplaceschen Planetenentstehungstheorie, von der Sonnenatmosphäre nach der Abtrennung der Erdmasse sich lösten und zu den Planeten Venus und Merkur zusammenballten, dadurch, daß sie die Wärmestrahlung der Sonne teilweise absorbierten, zu der paläozoischen und der quartären Eiszeit Anlaß gegeben hätten. Sieht man ganz davon ab, daß sich gegen die Laplaceschen Angaben über die Bildung der Planeten aus der Sonnenatmosphäre eine Reihe von Gründen geltend machen lassen, die ihre Unhaltbarkeit unwiderleglich beweisen**), so stellt sich die Theorie auch ohnehin als ein müßiges Spiel mit unmöglichen Möglichkeiten dar; ihr hypothetischer Charakter fällt sogleich deutlich in die Augen, wenn man bedenkt, daß der Planet Merkur seinen Entwicklungsgang

*) Anmerkung. Neuerdings ist von Fischer eine ähnliche Hypothese aufgestellt worden. Er nimmt für die Sonne eine stellare Umlaufzeit von 22 bis 28 Millionen Jahren an und bringt mit dieser Periode die Entstehung der Eiszeiten in Verbindung.

**) Anmerkung. Siehe des Verfassers: „Problem der Entwicklung unseres Planetensystems“, Berlin 1908, J. Springer.

in wenigen 1000 Jahren durchlaufen haben müßte, während die Erde viele hundert Millionen Jahre dazu nötig hatte.

2. Annahme veränderter Strahlungsintensität der Sonne.

Besser fundiert ist eine andere Annahme, die in den Temperatur- und Strahlungsverhältnissen der Sonne die Ursache der Eiszeit sucht. Bekanntlich hat die Sonne eine elfjährige Fleckenperiode, und mit ihr scheinen nicht nur Störungen des magnetischen Feldes der Erde, sondern auch Störungen der Wärmestrahlung der Sonne in Zusammenhang zu stehen. Nach einer Vermutung des Astronomen Scheiner könnten nun sehr wohl diesen kleinen Perioden ähnliche längere bestehen, während welcher die Wärmestrahlung der Sonne zwischen weiteren Grenzen schwankte. Nach seiner Rechnung bedarf es nur eines Sinkens der Oberflächentemperatur der Sonne um einige 100° , damit auf der Erde eine Verringerung der Durchschnittstemperatur um 4° bis 5° entstehe. Bei einer Oberflächentemperatur der Sonne von ungefähr 6000° sind nun einige 100° offenbar eine recht kleine Größe, und die Entstehung von Glazial- und Interglazialzeiten würde hiernach schon durch eine verhältnismäßig geringe Schwankung der Oberflächentemperatur der Sonne ihre Erklärung finden. Diese Annahme hat ohne Zweifel etwas für sich; aber sie scheitert daran, daß sich die Periodizität der Erscheinung kaum behaupten läßt, da diese, ohne sich während der langen Tertiärzeit allmählich vorbereitet zu haben, im Quartär sogleich auffällig, in starken Gegensätzen, ins Dasein getreten wäre. Wollte man aus diesem Grunde die Änderung der Oberflächentemperatur der Sonne nicht als periodisch, sondern als temporär betrachten, so hätte die Theorie nur noch den Wert eines Postulats, das sich nicht mehr durch beobachtete, analoge Erscheinungen rechtfertigen ließe. Auch läßt uns die Hypothese bei der Erklärung der viel weiter zurückliegenden paläozoischen Eiszeit im Stiche.

Vielleicht könnte man den Versuch machen, eine temporäre Verringerung der von der Sonne ausgestrahlten Wärmemenge dadurch zu erklären, daß man annähme, zu Zeiten seien nur wenige oder gar keine Meteormassen in die Sonne gestürzt. Nach Untersuchungen von Zenker beträgt die Oberflächentemperatur der Erde ohne die Sonnenstrahlung -73° ; durch die Sonnenstrahlung wird sie um rund 80° erhöht. Wenn man die Erniedrigung der mittleren Temperatur der Erde während der Eiszeit auf 4° bis 5° schätzt, so mußte die Sonnenstrahlung damals um $\frac{1}{20}$ geringer sein als jetzt. Da jedes Quadratcentimeter der Sonnenoberfläche täglich eine Wärme-

menge von $1,67 \cdot 10^8$ cal. ausstrahlt, so müßten demnach gegenwärtig täglich $8,3 \cdot 10^7$ cal. durch auffallende Meteore hervorgebracht werden. Nun erzeugt eine Gramm-masse, aus unendlicher Entfernung auf die Sonne fallend, eine Wärmemenge von $4,5 \cdot 10^7$ cal.; und hieraus würde folgen, daß gegenwärtig auf jedes qkm der Sonnenoberfläche täglich 0,182 g Masse mehr als zur Eiszeit fallen müßten. Schätzungsweise fallen nach Darwin auf die Erde täglich acht Millionen Meteore, d. h. auf 60 qkm ungefähr eines. Nehmen wir an, daß auf die Flächeneinheit der Erde und der Sonne die gleiche Anzahl Meteore fallen, so müßte hiernach jedes auf die Sonne stürzende Meteor eine Masse von $0,182 \cdot 60 \cdot 10^{10} = 11 \cdot 10^{10}$ g oder von 110 Millionen kg haben. Selbst wenn wir die Annahme machen wollten, die Anzahl der auf die Flächeneinheit einer um die Sonne als Mittelpunkt beschriebenen Kugelfläche fallenden Meteore sei dem Quadrate des Kugelradius umgekehrt proportional, was der Fall sein würde, wenn alle Meteore in geradlinichten Bahnen zur Sonne stürzten, so würde sich für die Masse eines Meteors noch der ungeheure Wert von 2500 kg berechnen. Dieser Wert ist auf jeden Fall ein Minimalwert, da die Meteore nicht in gerader Linie zur Sonne stürzen, sondern einen Kegelschnitt beschreiben, der sie in den meisten Fällen um die Sonne herumführt. Die wirklichen Massen der Meteore sind nun aber fast ohne Ausnahme beträchtlich kleiner; die meisten wiegen nur einige g oder mg. Die angeführte Erklärung muß daher aufgegeben werden.

3. Die Croll'sche Theorie.

Die wichtigste aller über die Eiszeit aufgestellten Theorien ist die Croll'sche Theorie. Sie hat am meisten Anhänger gefunden und besitzt in der Tat einige Scheinbarkeit. Die Erklärung lautet: „Auf der südlichen Halbkugel erstreckt sich gegenwärtig die den Pol umgebende Eismasse in bedeutend niedrigere Breiten als auf der nördlichen Halbkugel. Die Wärmeverhältnisse sind auf der südlichen Halbkugel also ungünstiger als auf der nördlichen. Dies erklärt sich dadurch, daß die südliche Halbkugel ihren Sommer während der Zeit der Sonnennähe, ihren Winter während der Zeit der Sonnenferne hat. Der Sommer ist zwar heißer als auf der nördlichen Halbkugel, aber er ist auch 7 Tage kürzer als der Winter. Die Wärmeunterschiede der beiden Halbkugeln sind um so größer, je größer die Exzentrizität der Erdbahn ist. Jetzt hat sie den Wert 0,017; sie kann jedoch bis zu dem Werte 0,074 zunehmen. Im extremsten Falle werden die Wärmeunterschiede der beiden Halbkugeln so groß, daß auf der einen eine Eiszeit entsteht,

während auf der andern ein heisses Klima herrscht. Da die Exzentrizität der Erdbahn sich nur während grosser Zeitperioden ändert, so kann die Erdachse innerhalb der Zeitdauer grosser Exzentrizität ihre die Präzession der Tag- und Nachtgleichen bewirkende Kegelbewegung ein oder mehrere Male ausführen. Dann entstehen auf den beiden Halbkugeln abwechselnd Glazial- und Interglazialzeiten.“ — Gegen die Richtigkeit dieser Theorie sprechen folgende, teilweise schon von anderer Seite aufgestellte Bedenken:

1. Es ist nicht zu bestreiten, dass die Wärmeverhältnisse der südlichen Halbkugel ungünstiger sind als die auf der nördlichen. Zur Erklärung dieser Tatsache darf aber höchst wahrscheinlich nicht die Exzentrizität der Erdbahn herangezogen werden. Zunächst lässt sich zeigen, dass die Wärmemenge, welche jede Halbkugel während eines Umlaufs der Erde erhält, genau dieselbe ist, einerlei, ob die Exzentrizität grosse oder kleine Werte hat. Die Einbüsse, welche eine Halbkugel, deren Sommer in die Sonnennähe fällt, bei der kürzeren Dauer des Sommers erleidet, wird durch die grössere Intensität der Wärmestrahlung genau wieder aufgehoben. Wenn man nun, unter Anerkennung dieser Tatsache, den Unterschied dadurch zu erklären sucht, dass ein kurzer, heisser Sommer auf die in einem langen, kalten Winter entstandene Eis- und Schneedecke anders wirke, als ein langer, kühler Sommer auf die in einem kurzen, milden Winter angesammelten Schnee- und Eismassen, so ist diese Annahme zum mindesten sehr gewagt zu nennen. Die gegenwärtig bestehenden Unterschiede in der Wärmeverteilung auf den beiden Halbkugeln dürften, anstatt auf die Exzentrizität der Erdbahn, viel wahrscheinlicher auf die verschiedene Wärmekapazität und Reflexionsfähigkeit des Wassers und der Landmassen, die auf der südlichen Halbkugel in ganz anderem Verhältnisse verteilt sind als auf der nördlichen, zurückzuführen sein. Dass die von Croll gegebene Erklärung des Unterschiedes der Wärmeverhältnisse der beiden Halbkugeln nicht richtig sein kann, geht auch daraus hervor, dass nach seinen Angaben die südliche Halbkugel einen heissen Sommer und einen kalten Winter haben müsste; das Gegenteil ist aber der Fall.

2. Da nach Croll diejenige Halbkugel, deren Sommer ins Aphel der Erdbahn fällt, günstige Temperaturverhältnisse aufweist, so müsste sie auch einen üppigen Pflanzenwuchs zeigen. Die Flora der Interglazialzeiten weist aber keineswegs auf Temperaturen

hin, die dem Pflanzenwuchs besonders förderlich waren, sie ist größtenteils eine Sumpf- und Moorflora.

3. Wenn die Croll'sche Theorie richtig wäre, so dürften die Äquatorealgegenden, deren Klima zwischen dem Glazial- und Inter-glazialklima der beiden Halbkugeln stets eine vermittelnde Stellung einnahm, und sich deswegen im Jahresmittel weder merklich abkühlen, noch erhitzen konnte, keine glazialen Spuren aufweisen. Dies ist jedoch der Fall. In der Sierra Nevada de St. Martha, im Himalaja und andern tropischen Gebirgen sind die glazialen Phänomene nachgewiesen worden. Allerdings sind sie weniger ausgedehnt, als in den höheren Breiten; aber dies erklärt sich durch die verschiedene Höhenlage der Schneegrenze in den tropischen und gemäßigten Breiten.

4. Die Croll'sche Theorie erfordert eine Periodizität der Eiszeit. Mit Sicherheit sind aber bis jetzt nur zwei Eiszeiten, die paläozoische und die quartäre, nachgewiesen worden. Es hat sich zwar gezeigt, daß auch andere geologische Formations-schichtenmerkwürdige, aus verschiedenen Gesteinen bestehende moränen-artige Geröllmassen, deren Ursprung dunkel ist, einschließen, aber da sie in den betr. Schichten nur lokal gefunden werden, so dürfte ein glazialer Ursprung ausgeschlossen sein. Daß die Spuren früherer Eiszeiten verwischt wären, oder als submarin uns nicht zugänglich seien, kann billigerweise auch nicht behauptet werden, wo uns die paläozoische und quartäre Eiszeit so deutliche und zahlreiche Spuren hinterlassen haben.

Die angeführten Gründe zeigen zur Genüge, daß auch die Croll'sche Theorie nicht haltbar sei.

Hiermit habe ich alle mir bekannt gewordenen Theorien vorgeführt. Die Kritik zeigt, daß keine derselben zur Erklärung des merkwürdigen Phänomens der Eiszeit genügt. Die Einwendungen, welche gegen sie erhoben werden können, sind so beweiskräftig, daß wir uns eingestehen müssen, die Entstehung der Eiszeit sei ein noch ungelöstes Problem. Ich habe nun, wie ich schon kurz andeutete, den Versuch gemacht, eine neue Theorie*) zu begründen, und ich hoffe, den Leser zu überzeugen, daß sie einigen Anspruch auf Glaubwürdigkeit besitze.

*) Anmerkung: Zuerst im Abriss dargestellt in des Verfassers „Problem der Entwicklung unseres Planetensystems“, Aufstellung und Begründung einer neuen Theorie nach vorhergehender Kritik der Theorien von Kant, Laplace, Poincaré, Moulton, Arrhenius u. a. Berlin, Springer. 1908.

II. Die neue Theorie.

Es versteht sich von selbst, daß eine neue Theorie, welche beachtet und ernst genommen werden will, mit den feststehenden physikalischen und allgemein anerkannten geologischen Tatsachen im Einklang stehen muß. Erfüllt sie diese Bedingung, so erweckt sie ohne Zweifel ein günstiges Vorurteil für sich, und sie würde als die richtige gelten dürfen, wenn sich auch gar keine augenscheinlichen Beweise für die Richtigkeit aufstellen ließen. Allerdings würde ihr in diesem Falle der Charakter des Problematischen anhaften; aber hierin dürfte niemand einen ernstlichen Nachteil erblicken. Auch die Physik verzichtet nicht auf Hypothesen, welche, obzwar ohne Widerspruch, doch unbeweisbar sind, und gelangt damit sehr weit; ich brauche nur an die Hypothese über den Weltäther und an die Molekulartheorie zu erinnern. Vorläufig sind wir, ebensowenig wie es bei den alten Theorien über die Eiszeit möglich war, imstande, augenscheinliche Beweise für die Richtigkeit der neuen Theorie anzuführen; aber es ist Aussicht vorhanden, daß die astronomische Forschung künftiger Zeiten Beobachtungsergebnisse liefern werde, welche einem tatsächlichen Beweise gleichkommen. Ich werde an passender Stelle darauf hinweisen.

1. Allgemeine Grundlagen der Theorie.

In den letzten 30 Jahren sind, besonders mit Hilfe der Himmelsphotographie, eine ganze Reihe größerer und kleinerer kosmischer Nebelmassen entdeckt worden. Nach spektralanalytischen Untersuchungen von Keeler bewegen sich die Nebel, ebenso wie die Sterne, mit verschiedenen Geschwindigkeiten und in verschiedenen Richtungen im Raume fort. Es liegt daher, bei der ungeheuren Ausdehnung, die viele dieser Nebel besitzen, die Möglichkeit vor, daß ein Stern in einen Nebel eintritt und ihn durchschreitet. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses ist ohne Zweifel viele Millionen mal größer als diejenige des Zusammentreffens zweier Sterne. Wenn auch, wegen der außerordentlichen Feinheit der Nebelmassen, nicht angenommen zu werden braucht, daß das Durchschreiten des Nebels den Bestand des Sternes gefährde, so könnte es trotzdem Spuren hinterlassen. Wir behaupten, daß die Folgen des Durchschreitens eines Nebels im wesentlichen zweierlei Art seien:

1. Der Stern zieht kleinere oder größere Kondensationen der Nebelmaterie, die nicht übermächtig weit von ihm entfernt sind, zu sich heran und zwingt sie, wenn der Widerstand der feinen Materie imstande ist,

die hyperbolische Exzentrizität in eine elliptische umzuformen, als Kometen ihm zu folgen.

2. Die Nebelmaterie absorbierte einen Teil der Licht- und Wärmestrahlung des Sternes und ruft dadurch auf den ihn umkreisenden Planeten eine Abkühlung hervor.

Die erste Folgerung führt, auf unsere Sonne angewandt, zu einer neuen Theorie des bis jetzt ebenfalls noch unerklärten Ursprungs der Kometen unseres Sonnensystems. Aus der zweiten Folgerung ergibt sich eine neue Erklärung der Entstehung der irdischen Eiszeiten.

2. Tatsächliche Anhaltspunkte.

Zunächst will ich mich bemühen zu zeigen, daß sich die Theorie auf tatsächliche Anhaltspunkte stützen kann. Nach mehrfach wiederholten Bestimmungen schreitet die Sonne bei ihrer translatorischen Bewegung nach einem Punkte fort, der in 260° bis 290° R. und in -1° bis 45° D. liegt. Das Gebiet, welches dem angegebenen im Rücken der Sonne entspricht, schließt aufser vielen kleineren und größeren Nebeln auch den großen Orionnebel ein (83° R., $-5\frac{1}{2}^{\circ}$ D.), der mit seinen Ausläufern nach Secchi einen Raum von ungefähr 120 Vollmondsflächen einnimmt. Nach den Beobachtungen Keelers entfernt sich dieser Nebel von der Sonne mit einer sekundlichen Geschwindigkeit von 18 Kilometern. Wir stellen daher die Vermutung auf, daß unser Sonnensystem den Orionnebel durchschritten habe. — Nimmt man mit mehreren Forschern an, die quartäre Eiszeit liege 20 000 bis 50 000 Jahre zurück, so berechnet sich hiernach die Entfernung des Nebels von der Sonne zu 75 000 bis 190 000 Erdweiten. Diese Entfernung läßt sich mit der Entfernung des der Sonne nächsten Fixsternes α Centauri vergleichen, welche 250 000 Erdweiten beträgt. Ihr entspricht eine Parallaxe von $2\frac{1}{2}''$ bis $1''$. Die Entfernung könnte jedoch auch größer sein. Wenn vielleicht nur der erste Abschnitt der diluvialen Eiszeit, der den zweiten, durch eine Interglazialzeit von ihm getrennten, bekanntlich an Intensität übertraf, durch ein Verweilen der Sonne im eigentlichen Orionnebel verschuldet wurde, so würde, da dieser Abschnitt schätzungsweise schon mehr als 100 000 Jahre zurückliegt, die Entfernung des Nebels zu rund 400 000 Erdweiten, der eine Parallaxe von $0,5''$ entspräche, berechnen. Vorläufig dürfte es leider gänzlich aussichtslos sein, die angegebenen Parallaxenwerte durch direkte Beobachtungen zu verifizieren. Sollte es aber in der Zukunft der Astronomie gelingen, auch die Parallaxe

diffuser Nebelmassen zu bestimmen, und ergäbe sich dabei für den Orionnebel ein dem angegebenen nahe kommender Wert, so würde unsere Vermutung über die Entstehung der Eiszeit fast zur Gewissheit erhoben. Dafür, daß der Orionnebel unserer Sonne ziemlich nahe liegt, lassen sich noch zwei Beobachtungstatsachen anführen. Erstens ist er unter allen sichtbaren Nebeln die glänzendste Erscheinung, und zweitens müssen Sterne unseres Sternhaufens hinter ihm stehen, da ihr Licht durch die Nebelmaterie eine Absorption zu erleiden scheint (siehe Arrhenius, Kosmische Physik, S. 38, und Scheiner, Astrophysik, S. 565). Wenn sich herausstellen sollte, daß der Orionnebel nicht genau im Antiapex der Sonnenbewegung liegt, so braucht er deswegen für unsere Theorie noch nicht aufgegeben zu werden. Denn es ist nicht unmöglich, daß die von der Sonne seit dem Austritt aus dem Nebel beschriebene Bahn nicht mehr als gerade Linie betrachtet werden dürfte; außerdem kann sich der Nebel infolge einer seitlichen Eigenbewegung aus seiner ursprünglichen Lage entfernt haben. Trotzdem müssen wir mit der Möglichkeit rechnen, daß der Orionnebel wegen irgend welcher, noch unbekannter Umstände für unsere Theorie nicht in Frage kommen könne. Da die Sternbilder, die in der Umgebung des Antiapex der Sonnenbewegung liegen (Orion, Lepus, Columba, Canis major, Argo, Monocerus), sehr reich an Nebeln sind, so würde es jedoch ein leichtes sein, für ihn einen passenden Ersatz zu finden. Außer vielen kleineren Nebeln enthalten diese Sternbilder eine Reihe sehr großer Nebelmassen, z. B. No. 1909, 424, 1977, 1980, 1982, 1990, 2024 im Orion, 1792 in Columba, 2359 in Canis major, 2310 in Argo, 2359 im Monocerus (vergl. Valentiner, Handwörterbuch der Astronomie). Im Gegensatz hierzu ist die Umgebung des Apex der Sonnenbewegung an Nebeln arm (Herkules, Lyra, Vulpes, Sagitta, Aquila, Serpens). Die Wahrscheinlichkeit, daß unser Sonnensystem in absehbarer Zeit wieder in einen Nebel eintrete und eine neue Eiszeit auf der Erde ihre verheerenden Wirkungen äußere, ist daher sehr gering.

3. Physikalische Begründung.

Wir wollen nun versuchen, soweit dies ohne Hilfe der Mathematik*) möglich ist, die Theorie nach ihrer physikalischen Seite zu diskutieren. Wenn angenommen wird, daß die Geschwindigkeit,

*) Anmerkung: Eine ausführliche mathematisch-physikalische Begründung der Theorie wird bald folgen.

mit welcher die Sonne den Nebel durchschritt, gleich derjenigen sei, mit der sie sich gegenwärtig vom Orionnebel entfernt, und ferner, daß die Diathermanität der Nebelmaterie, d. h. ihre Durchlässigkeit für Wärmestrahlen, nicht geringer war als die der atmosphärischen Luft, so zeigt die Rechnung zuerst, daß die Dichte der Nebelmaterie größer gewesen sein müsse als das 10^{-10} fache der Dichte des Wassers, falls die zwischen Sonne und Erde befindliche Nebelschicht eine bemerkbare Absorption auf die Wärmestrahlung der Sonne ausüben sollte. Die Nebelmaterie bewirkt nun aber nicht nur eine Absorption der Wärmestrahlung der Sonne, sondern dadurch, daß ein Teil derselben auf die Sonne stürzt und die kinetische Energie seiner Fallbewegung in Wärme verwandelt, auch eine Vergrößerung des Wärmeinhalts der Sonne. Wenn hierdurch auch ihre Oberflächentemperatur eine Erhöhung erführe, so würde, da nach dem Stefanschen Strahlungsgesetze die ausgestrahlte Wärmemenge der 4. Potenz der Oberflächentemperatur des strahlenden Körpers proportional ist, die Wärmestrahlung der Sonne zunehmen, und zwar vielleicht in höherem Grade, als sie durch die Absorption in der Nebelmaterie abnähme, so daß auf der Erde keine Abkühlung, sondern eine Erwärmung einträte. Es läßt sich jedoch zeigen, daß eine Vergrößerung des Wärmeinhalts der Sonne nicht notwendig zu einer bemerkbaren Erhöhung ihrer Oberflächentemperatur führen mußte. Die aufstürzende Nebelmaterie erreichte die Sonne mit mehr als 600 km sekundlicher Geschwindigkeit. In den oberen Atmosphärenschichten der Sonne, die wegen ihrer außerordentlich geringen Dichte der Nebelmaterie keinen wirksamen Widerstand entgegensetzen konnten, büßte sie daher nur einen Teil ihrer beträchtlichen Bewegungsenergie ein. Aus diesem Grunde und weil immer neue Massen nachdrängten, mußte die Nebelmaterie bis in größere Tiefen der Sonne vordringen. Vielleicht durcheilte sie nicht nur die ganze Chromosphäre, sondern auch noch einen Teil der Photosphäre. Wenn die Nebelmaterie aber die ganze äußere Gashülle der Sonne in wirbelnden Aufruhr versetzte und erst in größerer Tiefe ihre Bewegungsenergie verlor, so teilte sich die durch den Fall erzeugte Wärme einer beträchtlichen Masse mit; diese konnte dann jedoch nur eine geringe Temperaturerhöhung erfahren. Vielleicht bewirkte die neu erzeugte Wärme auch eine Zersetzung der in den oberen Schichten der Sonne befindlichen chemischen Verbindungen, des Kohlenwasserstoffs, des Cyans und des Titanoxyds, wurde also als Dissoziationswärme verbraucht. In diesem Falle trug sie nicht zur Erhöhung der Oberflächentemperatur der Sonne bei, sondern

bewirkte gleichsam nur eine Verzögerung ihres Abkühlungsprozesses. Wer aber trotzdem glaubt, daß unsere Theorie nur dann Anspruch auf Glaubwürdigkeit besitze, wenn mit dem Falle der Nebelmaterie auf die Sonne keine merkliche Wärmeerzeugung verbunden war, dem steht es frei, die Dichte der Nebelmaterie so gering vorauszusetzen, daß die erzeugte Wärmemenge vernachlässigt werden kann. Die Rechnung zeigt, daß dies erlaubt sei, wenn die Nebeldichte unter dem Werte 10^{-16} lag. In diesem Falle konnte jedoch die zwischen Sonne und Erde befindliche Nebelschicht keine erkennbare Absorptionswirkung ausüben, da nach unserer früheren Angabe dazu mindestens der millionenfache Wert der Dichte erforderlich wäre. Der angegebenen Schwierigkeit geht unsere Theorie durch die einfache Annahme aus dem Wege, daß ein Teil der auf die Sonne stürzenden Nebelmaterie sich nicht sogleich niederschlug, sondern sich mit der Sonnenatmosphäre vermischte, den inneren Sonnenkern gleichsam wie eine Hülle umschloß und einen größeren Teil seiner Strahlung absorbierte. — Die Interglazialzeiten erklären wir dadurch, daß in dem von der Sonne durchschrittenen Nebel Stellen mit größerer und geringerer Dichte vorhanden waren, oder dadurch, daß die Sonne nacheinander in mehrere, durch größere Zwischenräume voneinander getrennte Nebelteile eintrat. Je nachdem das Ausscheiden der Nebelmaterie aus der Sonnenatmosphäre schnell oder langsam vor sich ging, war der Übergang von einer Eiszeit zu der folgenden Interglazialzeit ein schneller oder langsamer; doch war die Schnelligkeit des Wechsels natürlich auch von den Dichteverhältnissen in den peripherischen Gebieten der durchschrittenen Nebelteile abhängig. Gesah das Ausscheiden langsam, so würde die Annahme, daß die in die Sonnenatmosphäre eingedrungenen Nebelmassen sich auch jetzt noch nicht völlig aus ihr niedergeschlagen hätten, es erklärlich machen, daß die Temperatur der Erdoberfläche in der Postglazialzeit bis zur Gegenwart im Wachsen begriffen sei, was aus dem Rückgange mancher Gletscher geschlossen worden ist.

4. Die paläozoische Eiszeit.

Es ist ein Vorzug unserer Theorie, daß sie auch für die Entstehung der auf die Steinkohlenzeit folgenden paläozoischen Eiszeit eine einfache Erklärung gibt. Die paläozoische Eiszeit bildet für fast alle bekannten Eiszeittheorien eine wahre *crux*; denn letzten Endes gehen sie sämtlich (mit Ausnahme der Jäkelschen Theorie) auf die Annahme einer geringen, durch kosmische oder

tellurische Verhältnisse verursachten Änderung der Strahlungsintensität der Sonne zurück; es ist aber ohne Zweifel rätselhaft, wie auf der Erde eine Eiszeit entstehen konnte, als die Strahlungsintensität der Sonne so groß war, daß noch lange Zeit nach der paläozoischen Vergletscherung sich auf der Erde nicht einmal nach der geographischen Breite abgestufte klimatische Zonen*) herausbilden konnten. Unsere Erklärung läßt sich jedoch ohne Schwierigkeit auf die paläozoische Eiszeit anwenden.**)

5. Schlufs.

Zum Schlusse möchte ich noch auf einige Tatsachen hinweisen, welche unserer Theorie zur Bestätigung dienen können. Der innere feinste Teil der Saturnsringe, der sog. dunkle Ring, vollendet seinen Umlauf um den Planeten schneller als dieser seine Rotation. Wenn die Ringe sich von der Atmosphäre des

*) Anmerkung: Simroth leugnet die Richtigkeit der bis jetzt fast allgemein anerkannten Annahme, daß sich die gegenwärtig bestehenden klimatischen Verhältnisse der Erde, besonders die Vereisung der Polargebiete, erst in der Tertiärzeit ausgebildet hätten, und zwar deswegen, weil er in seiner Pendulationstheorie der Annahme eines kalten Polarklimas bedarf, um die von ihm beschriebenen Wanderungen der Tiere und Pflanzen als ein Zurückweichen vor der Polarkälte deuten zu können. Er beruft sich dabei (S. 25 und 530 seines Werkes) auf die Spuren der Vereisung in den frühesten Formationsschichten der Erde und behauptet, der Nachweis von Schneebedeckung und Tropenklima in alter Zeit übertrage die heutige Zonenscheidung ohne weiteres bis in die ältesten Zeiten. Man erkennt sogleich, daß diese Behauptung auf sehr schwachen Füßen steht. Sie dürfte als richtig gelten, wenn alle alten Sedimente Gletscherspuren zeigten. Diese finden sich aber bekanntlich nur in den zwischen der Steinkohlen- und Permzeit abgelagerten Schichten, und zwar wahrscheinlich auf der ganzen Erdoberfläche. Hieraus geht hervor, daß nicht eine polare Eiskappe sich langsam auf der Erdoberfläche verschob, sondern daß eine große allgemeine Vergletscherung katastrophenartig die ganze Erde ergriffen hat.

**) Anmerkung: Auch die merkwürdige, allerdings noch nicht zweifellos feststehende Erscheinung, daß sie auf die südliche Halbkugel und die Äquatorgegenden beschränkt geblieben sei, findet ihre Erklärung. Man braucht zu dem Zwecke nur anzunehmen, daß die Richtung, in welcher die Sonne im Nebel fortschritt, nach dem Nordpole der Ekliptik gerichtet war, daß die Dichte der Nebelmaterie über dem Werte 10^{-14} lag und daß die mit der Sonnenatmosphäre sich vermischenden Nebelmassen fast ihre ganze Wärmestrahlung absorbierten. In diesem Falle würde die Erde von der Sonne gar keine Wärme empfangen; die durch den Fall der Nebelmaterie auf die Erde erzeugte Wärmemenge käme jedoch nur der nördlichen Halbkugel zu gute und wäre, bei der angegebenen Dichte 10^{-14} , groß genug, auf derselben das Fortbestehen der Pflanzen und Tiere zu ermöglichen.

Planeten lostgelöst haben, was als wahrscheinlich angenommen werden darf, so müssen sie also eine Beschleunigung ihrer Bewegung erfahren haben; diese Beschleunigung erklärt sich aber leicht als Folge des Widerstandes, den die Nebelmaterie auf die kleinen Meteorteilchen des Ringes ausübte. Ferner könnte die Materie des Zodiakallichtes, das in einem grossen elliptischen Ringe die Sonne umgibt, ein Rest der die Sonne umschwebenden alten Nebelmaterie sein. Da die echten Nebel, wie ihr Spektrum zeigt, die Gase Wasserstoff und Helium in gröfserer Menge enthalten, so könnten die in der Erdatmosphäre nachgewiesenen Spuren von Wasserstoff und Helium gleicherweise aus der Materie des durchschrittenen Nebels stammen. Das wichtigste Argument aber, welches unsere Theorie stützt, ist die Tatsache, dafs sie nicht nur für die Eiszeiten, sondern auch für den bis jetzt ebenfalls völlig rätselhaften Ursprung der Kometen eine einfache, einleuchtende Erklärung gibt.*) Ob sie wirklich als die richtige Theorie gelten darf, wird sich herausstellen, wenn es der Astronomie gelungen ist, die Entfernung des Orionnebels zu bestimmen.

*) Anmerkung: Vergl. „Eine neue Erklärung des Ursprungs der Kometen“, Abb. Nat. Ver., Bremen, 1909.