

Die Annahme Diracs, daß sich die Gravitationskonstante und damit die Anziehungskraft der Erde im Laufe der Zeit verringert hat, kann nur über kosmische Zeiträume nachgeprüft werden. Mit ihrer Hilfe konnten die verschiedensten Naturereignisse erklärt und in die erdgeschichtliche Entwicklung eingeordnet werden:

Pascual Jordan

Erdgeschichte und Dirac-Hypothese

In dieser Zeitschrift ist in einem früheren Aufsatz* erläutert worden, daß eine durch den englischen Physiker Dirac vor fast 30 Jahren ausgesprochene Hypothese bedeutungsvolle Folgerungen für die Geophysik und Geologie ergibt. Diese Hypothese besagt, daß die sogenannte Gravitationskonstante, definiert durch die wechselseitige Gravitationsanziehung zweier kugelförmiger Massen von je 1 Gramm, deren Mittelpunkte 1 Zentimeter voneinander entfernt sind, in Wahrheit gar nicht genau konstant sei. Vielmehr habe sie im Laufe der Entwicklung des Kosmos eine allmähliche Verkleinerung erfahren.

Diese im kosmologischen Zeitmaß fortschreitende Abschwächung der Schwerkraft erfolgt nach Diracs Vermutung so langsam, daß an ihre unmittelbare experimentelle Erfassung in physikalischen Präzisionsexperimenten vorläufig nicht zu denken ist. Aber im Laufe der Erdgeschichte, welche ja mindestens 4 Milliarden

Jahre umfaßt, konnte und mußte diese Veränderung der Schwerkraft doch erhebliche Wirkungen ausüben: Die Diracsche Hypothese führt zu der Folgerung, daß die Erde im Laufe ihrer Geschichte eine merkliche Expansion ausgeführt hat.

Da wir das Zeitmaß der Schwerkraftverringerung aus Diracs kosmologischen Erwägungen nur in roher Annäherung schätzen können, und da uns andererseits auch die physikalischen Eigenschaften des Erdkörpers noch nicht mit ausreichender Sicherheit bekannt sind, so kann freilich nicht etwa theoretisch berechnet werden, in welchem Maß sich die Expansion des Erdkörpers vollzogen hat – wir können das nur aus den geologischen und geophysikalischen Erfahrungstatsachen zu entnehmen versuchen. In dem erwähnten früheren Aufsatz wurden vor allem zwei Gruppen von Erfahrungstatsachen in diesem Sinne erörtert:

1. Ein erdumspannendes System von Zerreißlinien, ozeanische Spalten und große kontinentale Grabenbrüche enthaltend, zeigt eine ge-

genwärtig im Gang befindliche Expansion des Erdkörpers an, der längs dieser Linien seine äußere Hülle zerreißt.

2. Die Kontinentalschollen scheinen sich in genauerer Prüfung als restliche Stücke einer ursprünglich die ganze Erde umhüllenden Sial-(Silizium-Aluminium-)Schicht zu erweisen, deren Flächensumme sich seitdem nicht erheblich geändert hat. Die Tiefseegebiete stellen also denjenigen Anteil der Erdoberfläche dar, der durch die Expansion zusätzlich entstanden ist.

Die in diesen Sätzen gegebene Zusammenfassung dessen, was im erwähnten früheren Aufsatz begründet wurde, legt die Frage nahe, in welchem zeitlichen Verlauf die Expansion geschehen sein dürfte. Anhaltspunkte dafür gibt uns insbesondere der Atlantik: Im Süden ist die dortige Trennung von Afrika und Südamerika erst vor 200 bis 300 Millionen Jahren geschehen, was auf ein recht rasches Tempo der Verbreiterung des südlichen Atlantik hindeutet. Im Norden wird Island

* Pascual Jordan: Die Expansion der Erde. Heft 2/1964, Seite 10.

Erde und Sonne im Weltraum vor einigen Milliarden Jahren, als unser Planet vermutlich noch von einer dicken Wolkenhülle bedeckt war. Diese schützte das organische Leben vor der Vernichtung, die bei der damals geringeren Entfernung zwischen der Erde und der Sonne – eine Tatsache, die sich aus der Dirac-Hypothese ergibt – sonst unvermeidlich gewesen wäre.

von der atlantischen Spalte überquert. An den dort zahlreich vorhandenen „Klaffspalten“ hat Bernauer schon 1938 das Maß ihrer Verbreiterung seit dem Abschmelzen der Eiszeitgletscher untersucht. Seine Ergebnisse sprechen dafür, daß die Verbreiterung des Atlantik im Nordteil in ähnlicher Schnelle fortschreitet wie im Südteil.

Diese verhältnismäßig rasche Expansion kann aber nicht während der ganzen Erdgeschichte stattgefunden haben: Es ergibt sich der auffällige und zunächst unglaublich scheinende Befund, daß der Expansionsvorgang vor etwa 300 Millionen Jahren sein Tempo merklich vergrößert haben muß. Diese seltsame Folgerung verliert jedoch ihre Unverständlichkeit, wenn wir unser Wissen über das Erdinnere näher betrachten.

Eine heute in der Technik viel gebrauchte Methode der Werkstückprüfung ist die „Durchleuchtung“ mit Ultraschall. Feine Risse oder sonstige innere Fehler werden dabei noch besser erkennbar als bei einer Röntgendurchleuchtung. Ähnlich ergeben Erdbebenwellen eine „Durchleuchtung“ des Erdkörpers (Bild auf Seite 973); und zu den wichtigsten Ergebnissen der seismologischen Untersuchungen gehört die Feststellung, daß das „ultrabasische“ Gestein, welches unter dem Sima (Silizium-Magnesium) liegt, sich bis in eine Tiefe von rund 3000 Kilometer fortsetzt. In der Tiefe steht dieses Gestein des „Erdmantels“ unter stärkerem Druck und zeigt entsprechend veränderte physikalische Eigenschaften, die sich aber in der Richtung zum Erdmittelpunkte nur allmählich, stetig ändern (Bild auf Seite 974 oben).

Jedoch in rund 3000 Kilometer Tiefe treffen wir auf die – kugelförmige – untere Grenzfläche des Erdmantels; er grenzt hier an den sogenannten „äußeren Erdkern“. Daß es innerhalb dieses äußeren Erdkerns noch den mit wiederum anderen physikalischen Eigenschaften ausgestatteten „inneren Erdkern“ gibt, braucht uns

hier nicht zu beschäftigen; vielmehr sind uns die Unterschiede zwischen dem Gestein des Mantels und dem Stoff des äußeren Erdkerns jetzt wichtig.

Rechnungen, die sich auf die seismologischen Messungsergebnisse stützen, führten zu der Feststellung, daß der Erdkern eine wesentlich größere Dichte als der Erdmantel hat: An der Kugelfläche, welche die Grenze zwischen ihnen bildet, hat der Stoff des Erdkerns fast doppelt so große Dichte als das Gestein des Mantels.

Das soeben Gesagte ist eine klare, beweisbare Feststellung. Aber wenn wir nun nach der chemischen Zusammensetzung des tiefen Erdinnern fragen, so kommen wir um mehr oder weniger wahrscheinliche Hypothesen nicht herum. Die meisten Geophysiker bevorzugten lange Zeit folgende Hypothese: Der Erdmantel für sich und der äußere Erdkern haben einheitliche chemische Zusammensetzung; dabei besteht der Mantel aus Olivin-ähnlichem Gestein, der Kern aber aus einer Eisen-Nickel-Legierung. Dieser weithin anerkannten Hypothese hat Ramsey eine andere gegenübergestellt: Er vermutet, daß es sich beiderseits der Grenzfläche um die gleiche chemische Substanz handelt, nur in zwei verschiedenen „Phasen“. Man kennt ja aus Physik und Chemie viele Beispiele dafür, daß eine bestimmte chemische Substanz in zwei – oder noch mehr – verschiedenen Formen auftreten kann (zum Beispiel Schwefel als rhombisch oder als monoklin kristallisierter Stoff); in einem bestimmten Bereich von Druck und Temperatur ist die eine dieser Phasen stabil, in einem anderen Bereich die andere. So meint nun Ramsey, der Stoff des äußeren Erdkerns sei eine Hochdruckphase des gleichen Gesteins, dessen Niederdruckphase im Mantel vorliegt.

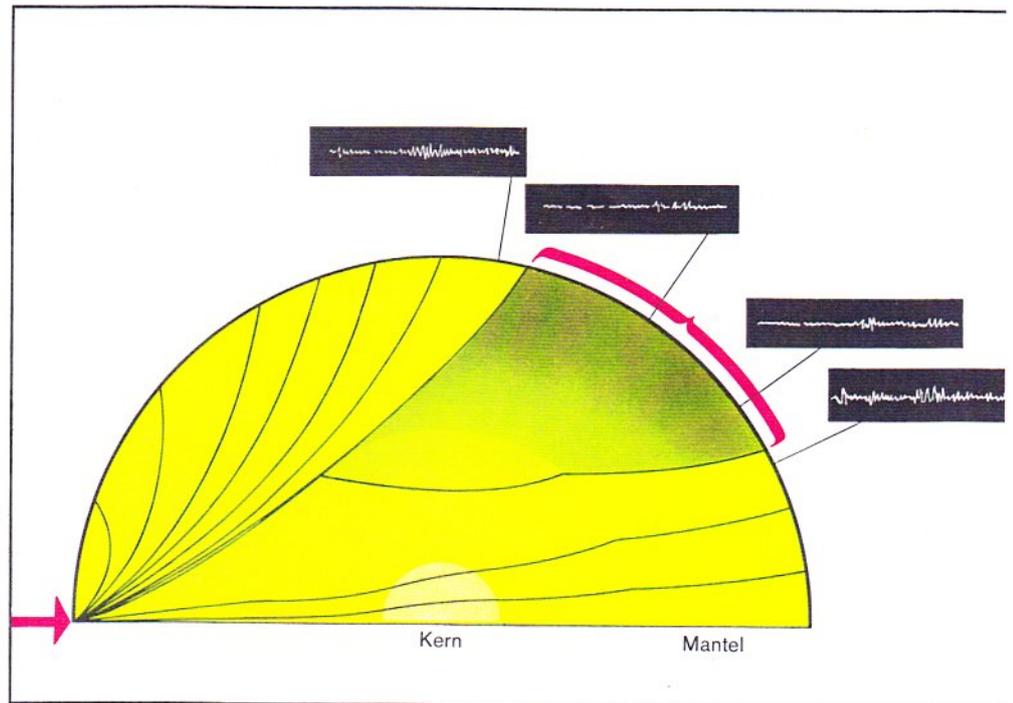
Es sind kritische Einwände gegen diese Hypothese vorgebracht worden. Sie scheinen dem Verfasser aber nicht ausreichend, um die Hypothese zu widerlegen.

Für das Thema der Erdexpansion ist es offenbar von großer Bedeutung, ob Ramsey recht hat. Denn in diesem Falle wird bei Verminderung der Schwerkraft – im Sinne Diracs – die Erde nicht nur diejenige recht kleine Expansion ausführen, die sich aus der Elastizität des Erdmaterials ergibt; sondern eine wesentlich stärkere Expansion wird sich dadurch ergeben, daß an der Grenzfläche Kern-Mantel eine allmähliche Umwandlung von Material der Hochdruckphase in solches der Niederdruckphase vor sich geht.

Die gegenwärtig rund 3000 Kilometer tief liegende Grenzfläche wandert also nach innen – diese Kugelfläche ist somit in der Vergangenheit größer gewesen und hat irgendwann unmittelbar unter dem Sima gelegen. Damals gab es also den Erdmantel noch gar nicht (Bild auf Seite 974 unten).

Damit ist aber eine deutliche Zweiteilung der Expansionsgeschichte der Erde gegeben. Vor beginnender Mantelbildung vollzog sich nur eine sehr langsame Expansion, auf der Elastizität des Erdkörpers beruhend. Nach Entstehung des Mantels hingegen ergab sich eine erheblich rascher verlaufende Expansion aufgrund fortlaufender Phasenumwandlung. Die empirischen Tatsachen sprechen dafür, daß etwa im geologischen Zeitalter des Perm die Ausbildung des Erdmantels begonnen hat. Die damaligen Ozeanbecken dürften in ihrer Flächensumme ungefähr halb so groß gewesen sein wie heute, entsprechend einer um rund 2 Kilometer höheren Lage der Wasseroberfläche. Jedoch gilt diese Angabe nur unter der Voraussetzung, daß die Gesamtmenge des Wassers auf der Erde ständig gleichgeblieben ist. Wahrscheinlicher – obwohl umstritten – ist aber die Vorstellung, daß diese Wassermenge im Laufe der geologischen Zeitalter merklich größer geworden ist durch Lieferung neuen, „juvenilen“ Wassers aus Vulkanen aus der Erdtiefe. Danach wäre diese Angabe „2 Kilometer höher“ wohl noch stark zu mildern.

Seismologische Untersuchungen gehören zu den wichtigsten Verfahren, mit denen man den Aufbau unserer Erde feststellen kann. Das Bild zeigt den gekrümmten Verlauf von Erdbebenwellen durch das Erdinnere. An der Grenzfläche zwischen dem Erdmantel und dem Erdkern werden die Wellen zum Teil reflektiert und zum Teil stark gebrochen. Dadurch entsteht die „Zone des Schweigens“, in der nur geringe Erschütterungen zu beobachten sind (siehe die Registrierkurven an den zugehörigen Stellen), während in der Kalotte gegenüber dem Herd wieder durch den Kern gelaufene Wellen ankommen.



Diese Erwägungen liefern nicht nur ein deutlicheres Bild der Expansionsgeschichte der Erde. Sie liefern umgekehrt auch eine neue Stütze für die Ramseysche Hypothese. Ohne sie wäre es kaum möglich, die Theorie der Erdexpansion unter Berücksichtigung aller Erfahrungstatsachen befriedigend abzurunden.

Aus geometrischen Gründen kann sich die Expansion des Erdkörpers an seiner festen Oberfläche nicht lediglich im Auftreten von Zerreißspalten zeigen. Es gibt außerdem Verschiebungslinien, längs deren eine Relativverschiebung der beiderseitigen Ufer parallel zur Richtung der Linie stattfindet. Sie hängen gesetzmäßig mit den Zerreißlinien zusammen. Außerdem aber gibt es Gebirgsfaltung – Vorgänge, die früher als Beweis für Kontraktion angesehen wurden, die jetzt aber als Folge davon gedeutet werden müssen, daß die Außenschicht in Anpassung an den expandierenden Erdkörper ihre Krümmung vermindern muß. Es entstehen dadurch Quetschfalten, wie Haber es treffend ausgedrückt hat (Bild auf Seite 976 oben).

Daher muß auch die Bildung von Faltengebirgen im Zeitabschnitt der starken, auf Phasenumwandlung im Erdinnern beruhenden Expansion kräftiger vor sich gegangen sein als vorher während der schwächeren Expansion, die lediglich auf der Elastizität des Erdinneren beruhte. Ein von Schwarzbach aufgestelltes Diagramm der „Faltungsunruhe“ in ihrem zeitlichen Verlauf beschränkt in der Tat die Faltungstätigkeit, soweit sie fortdauernd erhebliche Ausmaße hatte, auf etwa die letzten 300 bis 400 Millionen Jahre.

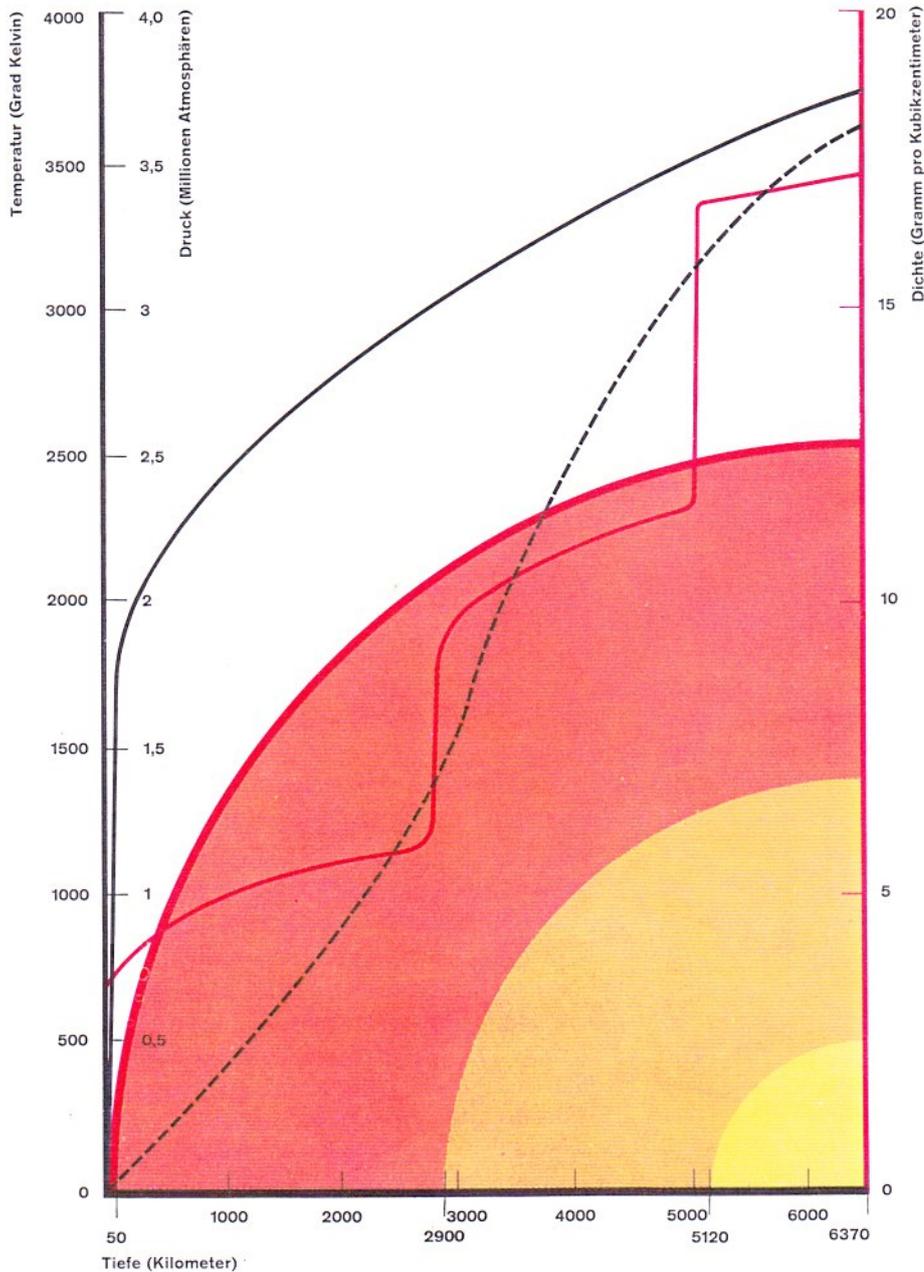
Dieses schon etwas ältere Bild ist freilich heute verbesserungsbedürftig geworden, weil in neuester Zeit eine gewaltige Rückwärtserweiterung der erforschbaren Erdgeschichte erarbeitet worden ist. Die ältere Geologie vermochte die altersmäßige Unterscheidung der Erdschichten nur aus ihrem Gehalt an Versteinerungen zu gewinnen. Ihre Methoden reichten deshalb nur ungefähr 550 Millionen Jahre zurück, bis zur Untergrenze des Kambriums*. Noch ältere Schichten zeigen nur in seltenen Fällen

* Heinz Dombrowski: Das Alter des Lebens. Heft 8/1965, Seite 654.

noch erkennbare Spuren organischen Lebens. Erst die kernphysikalische Altersermittlung geologischer Gesteine hat es erlaubt, auch in viel älteren Schichten die zeitliche Gliederung aufzuklären – bis zu etwa 3 Milliarden Jahren hin; und im Zuge dieser Erweiterung der geologischen Forschungen sind auch viele weit zurückliegende Vorgänge der Gebirgsfaltung neu entdeckt worden: Es hat durch die ganze Erdgeschichte immer Vorgänge dieser Art gegeben. Trotzdem bleibt es richtig, daß im neueren Zeitabschnitt der wesentlich verstärkten Expansion auch die Faltungstätigkeit mächtig verstärkt worden ist.

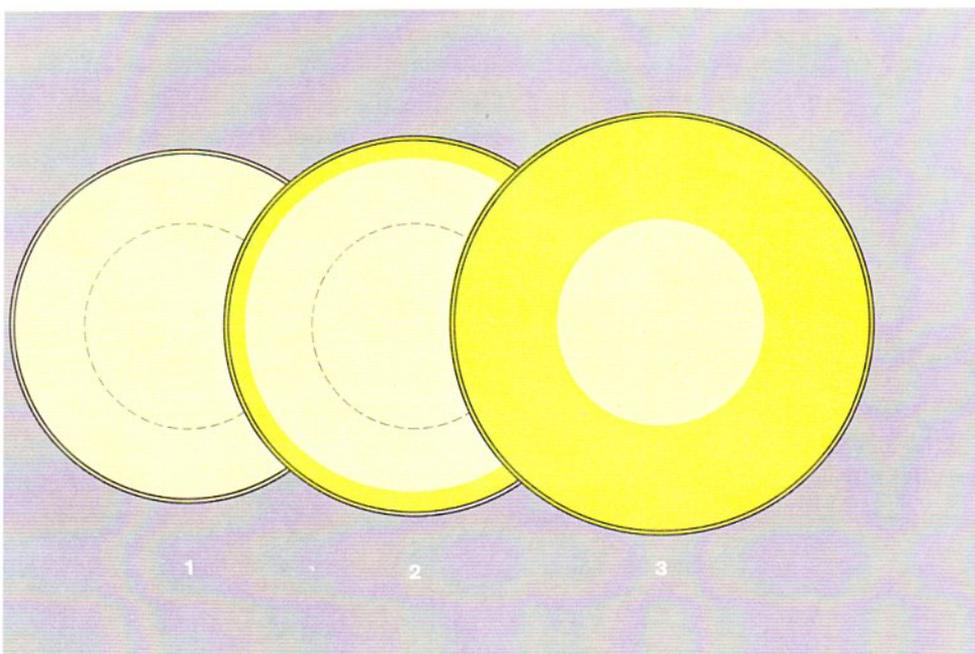
Auf diesem Hintergrunde wollen wir nun das berühmte Problem der geologisch alten Eiszeiten betrachten: Die letzte von ihnen hat im oder etwas vor dem Karbon, also der Steinkohlenzeit, begonnen und sich bis ins Zeitalter des Perm ausgedehnt.

Wir hatten ja die Diracsche Hypothese in ihrer erdgeschichtlichen Bedeutung oben nur von der Seite aus betrachtet, daß die Abschwächung der Schwerkraft unmittelbar zu einer



Veränderung des Erdkörpers führen mußte, eben zur Expansion und allen damit verknüpften Erscheinungen. Aber die Diracsche Hypothese ergibt auch für die Sonne schwerwiegende Folgerungen und endlich für die Bewegung der Erde um die Sonne, für welche ja die Schwereanziehung maßgebend ist. Wie so oft in der Durchdenkung der Folgerungen der Diracschen Hypothese, sind auch in dieser Hinsicht die Folgerungen so einschneidend und so erstaunlich, daß sie uns sehr mißtrauisch gegen die ganze Hypothese machen könnten. Tatsächlich hat der amerikanische Physiker Teller vor längerer Zeit das Urteil vertreten, die Diracsche Hypothese werde durch diese Folgerungen als unmöglich erwiesen.

Wenn in früherer Zeit die Gravitationskraft stärker war als heute, so mußte damals die Erdbahn einen kleineren Radius haben als heute; und folglich mußte die Erde damals von stärkerer Sonnenstrahlung getroffen werden. Aber diese Folgerung wird weit überboten dadurch, daß nach astrophysikalischen Überlegungen bei stärkerer Gravitation auch die Gesamtstrahlung der Sonne stärker sein mußte, und zwar sehr erheblich. Also erhob Teller folgenden Einwand: Wäre Diracs Vermutung zutreffend, so hätte in der Vergangenheit die Sonnenhitze alles organische Leben der Erde abtöten müssen – oder vielmehr: Das organische



Oben: Der Aufbau des Erdkörpers und die drei wichtigsten Zustandsgrößen – Temperatur (durchgehende schwarze Linie), Druck (gestrichelte schwarze Linie), Dichte (rote Linie) –, in Abhängigkeit vom Erdradius aufgetragen. **Unten:** Die Grenzfläche zwischen dem Mantel und dem Kern der Erde, die anfangs noch gar nicht existierte (Position 1), wanderte im Laufe der Zeit, parallel mit dem Größerwerden des Erdballs (2), in ihre jetzige Position (3).

Leben hätte sich gar nicht entfalten können.

Dieser Überlegung begegnete ter Haar mit folgendem Gegeneinwand: Bei früherer erheblich stärkerer Sonnenstrahlung mußten auch größere Wolkenmassen in der Lufthülle der Erde auftreten. Eine dauernd geschlossene Wolkendecke könnte bedingt haben, daß trotz kräftiger Strahlung der Sonne die Temperaturen auf dem Erdboden biologisch günstig blieben.

Dieser Gedanke einer geschlossenen Wolkendecke in geologisch älterer Zeit war schon vorher auch von anderen Wissenschaftlern mit anderen Begründungen erwogen worden. Es scheint ihm zu widersprechen, daß es sehr alte Salzlager gibt. Schon im frühen Kambrium müssen gewisse Flachmeere durch allmähliche Austrocknung Salzlager gebildet haben. Aber nur unter den Bedingungen heutiger Sonnenstrahlung könnte gefolgert werden, daß über solchen Meeren fast immer blauer Himmel herrschen mußte: Bei viel stärkerer Sonnenstrahlung könnte auch unter bedecktem Himmel ein Mehr von Verdunstung gegenüber einem Weniger von Niederschlägen gebietsweise langfristig vorkommen. Von hier aus steht also dem Gedanken einer geschlossenen Wolkendecke – zum Beispiel noch im Karbon und Perm – nichts im Wege (Bild auf Seite 970).

Von den Klimaverhältnissen des Karbons aber kann man sich nach Potonié aufgrund der Einzelheiten der so reichhaltigen empirischen Befunde ein sehr bestimmtes Bild machen. Der Hauptpunkt ist der, daß die gesamte Pflanzenwelt der Steinkohlenwälder aus ausgesprochenen Schattenpflanzen bestand. Die noch lebenden Verwandten dieser Pflanzen – insbesondere Farne, ebenfalls Schattenpflanzen – haben nicht einmal die Fähigkeit, sich durch Lichtreize zu verstärktem Wachstum anregen zu lassen. Potonié selber betrachtete dies Ergebnis seiner Untersuchungen mit einiger Verlegenheit, weil ihm nicht ersichtlich war, woher

der viele Schatten kommen sollte: Diejenigen Pflanzen der Steinkohlenwälder, die hoch aufragten, das obere Stockwerk des Waldes bildend, waren ihrem Bau nach gar nicht geeignet, viel Schatten zu spenden.

Zweitens war das damalige Klima sehr einheitlich, sehr gleichförmig, sowohl räumlich als auch zeitlich. Für räumliche Gleichförmigkeit spricht die weltweite Verbreitung der karbonischen Kohlenlager, die zum Beispiel auf Spitzbergen und in der Antarktis vorkommen. Für zeitliche Gleichförmigkeit spricht das Fehlen von Jahresringen an den Bäumen.

Man kennt, nebenbei bemerkt, aus späteren geologischen Zeitaltern das Auftreten von Jahresringen nicht nur bei Pflanzen, sondern beispielsweise auch in Belemnitenchwänzen und bei Korallen. Im Falle der Belemnitenchwänze erlauben kernphysikalische Methoden die Ermittlung, in welchen Wassertemperaturen sich der Belemnit damals im Sommer oder Winter bewegt hat. Aber im Karbon scheint es nach Ausweis des Fehlens von Jahresringen noch keine ausgeprägte Verschiedenheit der Jahreszeiten gegeben zu haben.

Diese Verhältnisse sind offenbar günstig für die Annahme einer damaligen geschlossenen Wolkendecke. Man muß geradezu sagen, daß weder die ausschließliche Zusammensetzung der Steinkohlenwälder aus Schattenpflanzen noch die räumliche und zeitliche Gleichförmigkeit ihres Klimas ohne die Annahme einer geschlossenen Wolkendecke erklärt werden können; tatsächlich hat ja Potonié an der Erklärbarkeit des Hauptpunktes gewissermaßen gezweifelt.

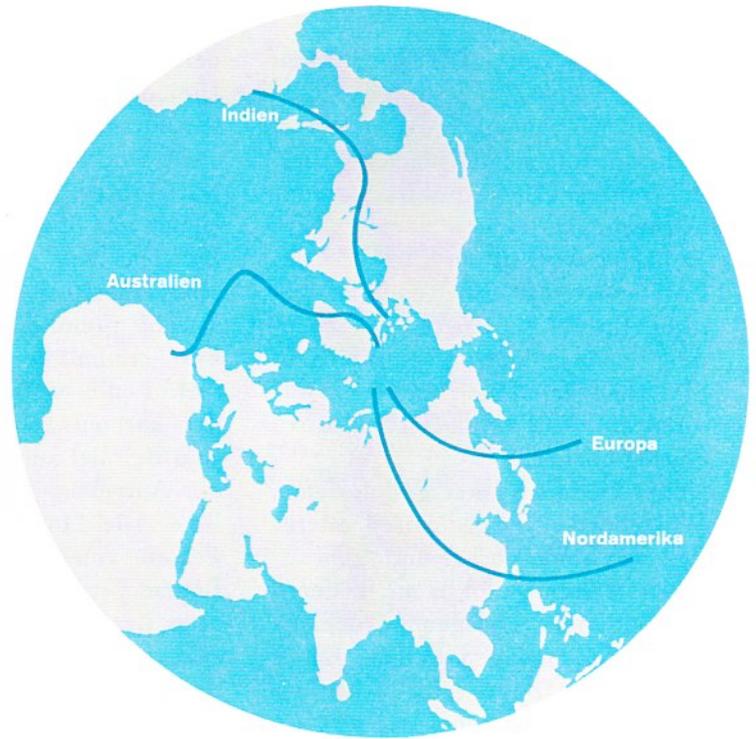
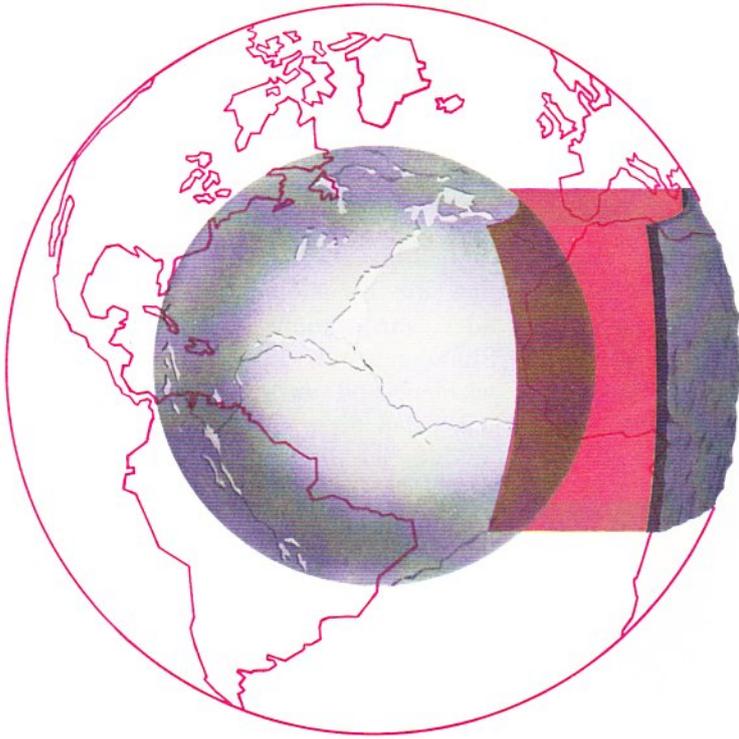
Potonié hat aus den paläontologischen Befunden heraus auch die durchschnittliche Temperatur dieses Klimas der Steinkohlenwälder zu schätzen versucht, und er hält etwa 10 Grad Celsius für das wahrscheinliche Ergebnis. Das ist sehr bemerkenswert, weil in der sonstigen Lite-

ratur gewöhnlich eine recht warme, tropischen Urwäldern entsprechende Temperatur angenommen wird, allerdings ohne eigentliche Begründung; es handelt sich lediglich um eine konventionelle Meinung. Schließlich erfahren wir von Potonié, daß die Steinkohlenwälder häufig oder gar ständig von kräftigem Sturzregen oder Hagel überschüttet wurden, und das legt den Schluß nahe, daß diese gleichmäßig kühlen Wälder ständig in der Nähe beginnender Vereisung waren. Hagelmassen konnten vor dem Wegtauen durch neu gefallene Hagelmassen vermehrt werden. In der Tat findet man unter anderem in Nordamerika die Reste von Steinkohlenwäldern oft erstaunlich nahe bei Vereisungserscheinungen damaliger Zeit.

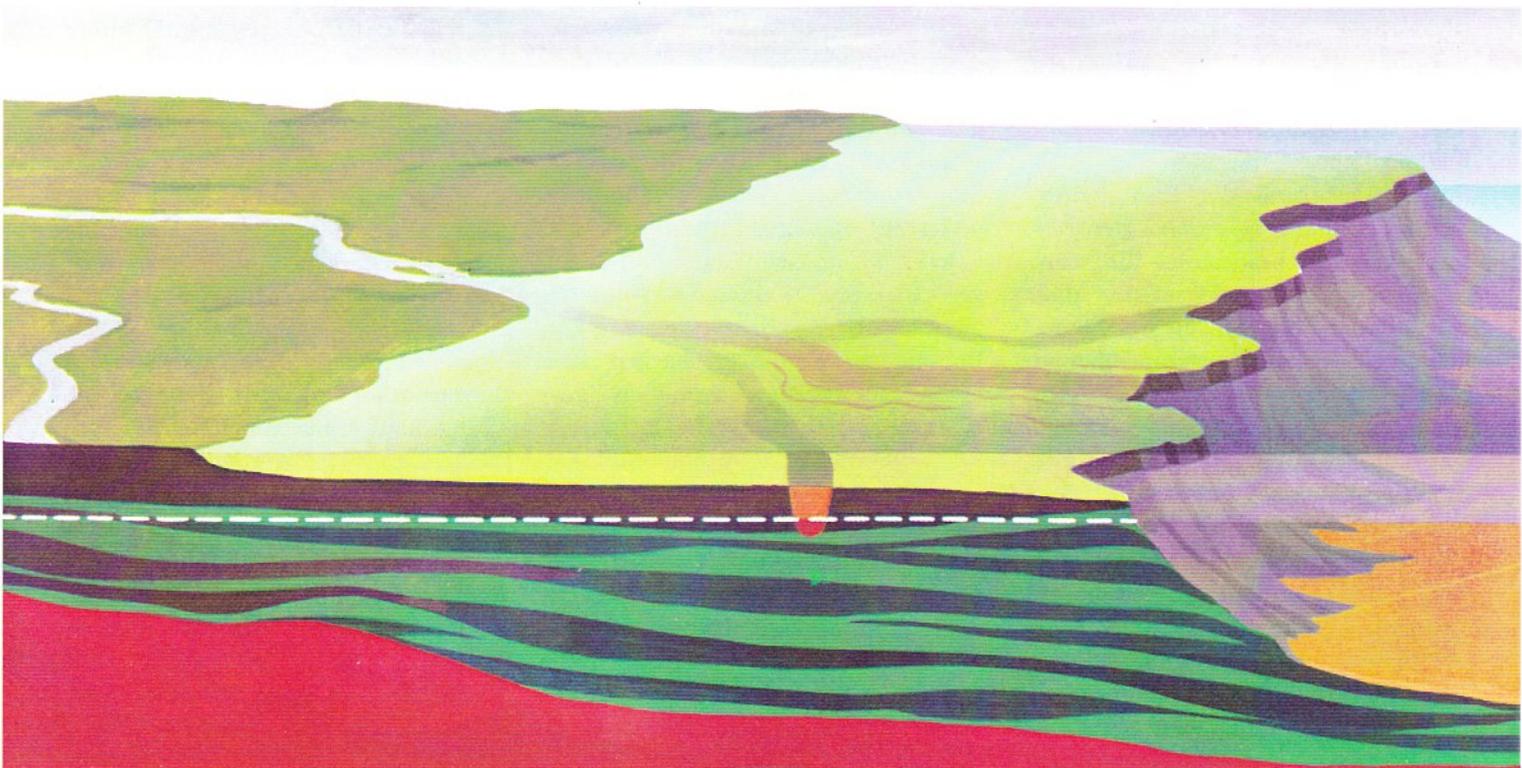
Es hat nämlich damals – im Karbon und Perm – auch Vereisungsgebiete gegeben. Es gab eine permokarbonische Eiszeit. Sie verständlich zu machen, ist eine unserer wichtigsten Aufgaben, wenn wir klären wollen, ob die Diracsche Hypothese auch den Tatsachen der Paläoklimatologie gerecht zu werden vermag.

Es hat übrigens eine andere, noch frühere Eiszeit gegeben, in devonischer Zeit. Aber zwischen der permokarbonischen und der letzten Eiszeit, dem Diluvium, hat es keine weitere gegeben. Obwohl umfangreiche Feststellungen betreffs permokarbonischer Vereisung vorliegen, wäre es doch nicht leicht, heute eine Gesamtübersicht unseres diesbezüglichen Wissens zu geben. Denn für verschiedene Fälle hat man neuerdings versucht, die Beweiskraft der sie betreffenden Befunde zu bezweifeln. Manche als Zeugnis der permokarbonischen Eiszeit angesehene Tatsachen könnten vielleicht auch anders gedeutet werden. Der Paläontologe Schindewolf hat kürzlich ausgesprochen, es sei gegenwärtig geradezu zur Modeströmung geworden, permokarbonische Vereisungsspuren ableugnen oder umdeuten zu wollen.

Das Auftreten einer Neigung, diese



Oben links: So hat man sich die Entstehung der Gebirge nach der Expansionstheorie vorzustellen. Die Kontinentalshollen müssen sich bei der langsamen Expansion der Erde der kleiner werdenden Krümmung angepaßt haben, wodurch an der Oberfläche Quetschfalten entstanden sind. Oben rechts: Die konventionellen Deutungsversuche der voneinander abweichenden Vereisungsgebiete in den früheren Eiszeiten führten zur Polwanderungshypothese. Diese erfordert aber, wenn man vom Paläomagnetismus der verschiedenen Kontinente und einer veränderten Erdoberfläche ausgeht, vier verschiedene Wege des Pols. Unten: Folgerungen aus der Dirac-Hypothese können auch die Entstehung der unterseeischen Tafelberge und der tiefen Einschnitte, welche die großen Ströme in den Kontinentalschelfen hinterlassen haben, erklären. Voraussetzung dabei ist, daß während der permokarbonischen Eiszeit der Meeresspiegel 1,5 Kilometer tiefer lag als heute, was durch die Pfeile angedeutet wird.



Vereisungsspuren mit Skepsis zu betrachten, ist psychologisch sicherlich nicht unverständlich; denn die Befunde sind zum großen Teil von äußerst paradoxer Art. Von permokarbonischer Vereisung wird berichtet unter anderem aus Indien, Arabien, Zentralafrika, Südamerika, Australien, also von Fundorten, die überwiegend weit entfernt von den Polen liegen. Ausgerechnet der antarktische Kontinent war hingegen in permokarbonischer Zeit anscheinend nicht vergletschert; jedenfalls hat es dort in der Steinkohlenzeit Wälder gegeben.

Selbst dann aber, wenn der eine oder andere der genannten Fundorte aufgrund anderweitiger Erklärung der betreffenden Funde ganz gestrichen werden könnte, so bliebe es doch unmöglich, an der Realität jener früheren Eiszeit zu zweifeln. Der Geologe Lotze, ein sehr vorsichtiger Beurteiler, der manche als Vereisungsbeweise angesehene Einzeltatsachen skeptisch ansieht, hat vor kurzem die Realität der Eiszeit in Indien durch neue Untersuchungen bestätigt. Anderer-

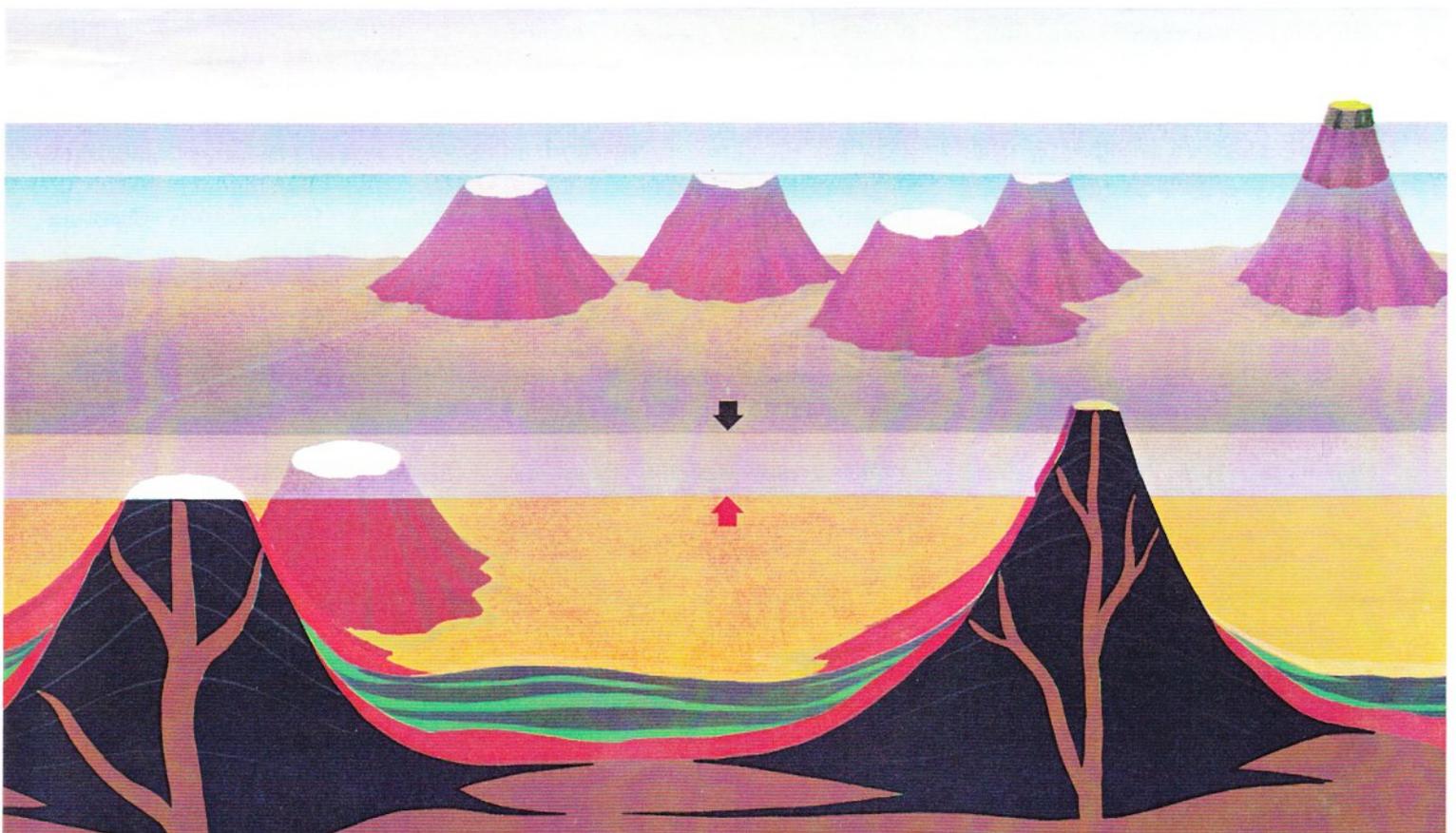
seits beruhen moderne Ergebnisse betreffs der Eiszeit in Australien auf kernphysikalischen Ermittlungen damaliger Meerestemperaturen, wobei ein Versuch andersartiger Deutung unmöglich ist.

Man muß also diese Tatsachen anerkennen, so paradox sie erscheinen. Was soll man sich aber dabei denken? Die heute im Vordergrund stehenden Erklärungsversuche arbeiten mit zwei Grundgedanken: Polwanderung und Kontinentalverschiebung. Man versuchte sich vorzustellen, die permokarbonisch vereisten Gebiete wären damals – in enger Nachbarschaft zueinander – bei den Polen gelegen gewesen.

Alle mit konventionellen Gedanken arbeitenden Deutungsversuche waren einig in der Voraussetzung, daß jedes Vereisungsgebiet seinerzeit in einem der Polargebiete gelegen haben müsse. Denn unwillkürlich dachte man sich die permokarbonische Eiszeit als einen Vorgang, welcher der diluvialen Eiszeit ähnlich gewesen sein sollte. Deshalb mußte die Hypothese der Polwanderungen als eine willkommene Erklärungs-

grundlage erscheinen. Sie konnte grundsätzlich verständlich machen, daß jene frühen Vergletscherungen in ganz anderen Teilen der Erdoberfläche als den heutigen Polargebieten aufgetreten sind.

Aber obwohl die Polwanderungshypothese von vielen Wissenschaftlern sehr positiv angesehen wird, sind zu ihr gewichtige Bedenken auszusprechen. Einerseits sind erhebliche Verlagerungen der Erdachse im Laufe geologischer Zeiten vom Standpunkt der Physik, der Mechanik, sehr unwahrscheinlich, wenn auch die großen Lücken unserer Kenntnis des Erdinneren uns heute noch nicht erlauben, die Polwanderung geradezu als unmöglich zu bezeichnen. Zweitens aber sprechen die Erfahrungstatsachen radikal gegen diese Hypothese. Das erdmagnetische Feld hat in früheren geologischen Zeiten andere Richtungsverteilungen gezeigt als heute; man hat dazu neuerdings weltweit zahlreiche Ermittlungen durchgeführt. Verschiedene Wissenschaftler suchten die Ergebnisse durch die Annahme von Polwanderungen zu deu-



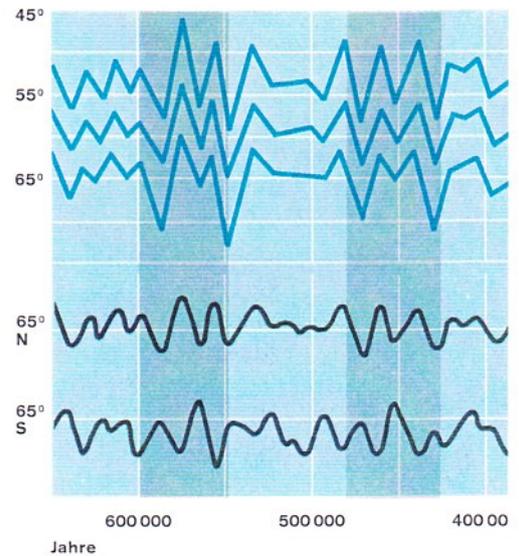
ten; und man hat geradezu den Weg, den der Nordpol durchlaufen haben sollte, aus den paläomagnetischen Messungsergebnissen berechnet. Führt man diese Rechnung aber durch, indem man die Messungsergebnisse entweder aus Europa oder aus Indien oder Australien oder Nordamerika zugrunde legt, so bekommt man vier verschiedene Wege (Bild auf Seite 976 oben).

Deshalb haben verschiedene Verfasser die alte Wegenersche Theorie der Kontinentalverschiebungen in Form der Behauptung wieder aufgenommen, daß die in den Sima-Untergrund eingetauchten Kontinental-schollen verhältnismäßig beweglich seien. Dem steht zunächst der von Jeffreys geführte Nachweis entgegen, daß eine Bewegung der Kontinental-schollen im Sima ungeheure antreibende Horizontalkräfte erfordern würde. Diese Überlegung hatte seinerzeit dazu geführt, daß man für lange Zeit die Wegenerschen Überlegungen ganz verwerfen wollte. Es ist gerade der Vorzug der Expansionstheorie, daß sie etwa die Trennung Afrika-Südamerika verständlich machen kann, ohne solche Horizontalkräfte nötig zu haben.

Jedoch hat eine andere Hypothese neuerdings viel Zustimmung gefunden, von der man eine Überwindung der durch die Überlegungen von Jeffreys geschaffenen Schwierigkeit erhofft: Die Hypothese der „langsamen Konvektionsströme“ im Erdmantel. Wenn man auf dieser Grundlage erhebliche Relativverschiebungen der Kontinente für möglich hält, so kann man hoffen, vielleicht doch noch eine Rekonstruktion der Erde des Karbons in solcher Weise durchzuführen, daß die Vereisungsgebiete damaliger Zeit in die Polargebiete kommen.

Es muß aber auch die grundsätzliche Frage gestellt werden, ob es überhaupt richtig ist, die permokarbonische Eiszeit als dem Diluvium ähnlich anzusehen. Wenn, wie die Diracsche Hypothese es verlangt, im Karbon eine geschlossene Wolkendecke

Milankowitschs Erklärung für den Wechsel von Eiszeiten und eisfreien Zeiten beruht auf Schwankungen der Sonnenstrahlung in höheren Breiten der Erde. Die oberen drei Kurven, von Milankowitsch entworfen, stellen die Strahlungsänderung für drei geographische Breiten dar. Die beiden unteren Kurven von Köppen und Wegener geben den angenäherten Verlauf der sommerlichen Bestrahlung, aufgrund bestimmter physikalischer Gesetzmäßigkeiten berechnet, in guter Übereinstimmung damit wieder. Die grauen Flächen von links nach rechts: Günz-Eiszeit, Mindel-Eiszeit, Riß-Eiszeit, Würm-Eiszeit.



die Erde einhüllte – sie abschirmend gegen die damalige weit stärkere Sonnenstrahlung –, so war gar kein Grund vorhanden, daß die eintretenden Vereisungen die Polargebiete bevorzugen mußten. Wir kamen ja schon von Potoniés Analyse der Klimaverhältnisse der Steinkohlewälder zu der Folgerung, daß diese Wälder unter Wirkung der ständigen kräftigen Hagelschläge eigentlich überall dem Übergang zur Vereisung nahe waren.

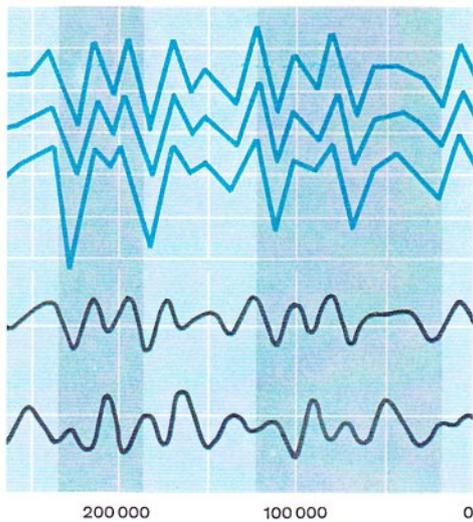
Soweit dabei eine Bevorzugung bestimmter Gebiete zustande kommen konnte, dürfte hierfür ein breiter äquatorialer Gürtel eher in Frage gekommen sein als die Polargebiete; denn die besonders kräftigen, hoch aufgetürmten Wolkenmassen der Tropen waren wohl am stärksten geeignet, ergiebige Hagelschläge zu liefern und damit Vergletscherung einzuleiten. Von dieser Erwägung aus erscheint es durchaus natürlich, daß gerade der antarktische Kontinent damals keine Vergletscherung erfahren hat; er kann trotzdem – oder gerade deshalb – auch damals den Südpol enthalten haben.

So führt uns das Durchdenken der Diracschen Hypothese zwangsläufig zu einem überraschend veränderten Bild der permokarbonischen Eiszeit. Trotz seiner Verschiedenheit von

bisherigen Vorstellungen scheint dieses neue, theoretische Bild den zunächst so paradox aussehenden Erfahrungstatsachen eine abgerundete, sinnvoll zusammenhängende Deutung zu geben. Vielleicht findet damit aber auch ein anderes berühmtes Problem in unerwarteter Weise seine Lösung, nämlich das Problem der unterseeischen Tafelberge oder „Guyots“ (Bild auf Seite 976/77 unten).

Man kennt im Stillen Ozean eine beträchtliche Anzahl solcher Tafelberge, deren ebene Oberseite etwa 1,5 Kilometer unter dem heutigen Meeresspiegel liegt. Irgendwann – und zwar jedenfalls vor der Kreidezeit, welche auf diesen Tafeln Sedimente hinterlassen hat – müssen diese Tafelflächen genau die Höhe des Meeresspiegels gehabt haben, so daß der Wellenschlag sie abhobeln konnte. Die Deutung, daß diese Berge später irgendwie um mehr als ein Kilometer gesunken seien, mag für einzelne Fälle zutreffen, kann aber gegenüber der Gesamtzahl dieser Tiefseeberge schwerlich angewandt werden.

Nun weiß man, daß im Diluvium so große polare Eismassen angesammelt waren, daß der Meeresspiegel auf der ganzen Erde dadurch erniedrigt wurde. Seine Höhe hat in den Eiszeiten und Zwischeneiszeiten um



mindestens 300 Meter geschwankt. Betreffs der permokarbonischen Eiszeit folgt aber aus der Vorstellung einer sehr umfassenden, vorwiegend einen äquatorialen Gürtel betreffenden Vereisung, daß damals noch viel größere Wassermengen in Gletschern festgelegt gewesen sein dürften; sie könnten das Zehnfache des diluvialen Eises betragen haben. So wird es denkbar, daß damals der Meeresspiegel tatsächlich zeitweise (in Zeiträumen maximaler Vereisung) 1,5 Kilometer tiefer als heute gelegen haben könnte.

Das neue Bild der permokarbonischen Eiszeit entwickelt sich also dazu, daß wir diesem Naturvorgang Ausmaße zuschreiben müssen, welche diejenigen des Diluviums weit überbieten. Freilich liegt ein Einwand nahe: Eine solche Absenkung des Meeresspiegels, welche zum zeitweiligen vollen Heraustreten der Kontinentalblöcke aus dem restlichen Meereswasser führen mußte – unter völliger Beseitigung der Schelfe – hätte dann ergeben müssen, daß die großen, in die Ozeane mündenden Ströme ihre Strombetten bis zum Kontinentalabhang hin verlängerten. Dies ist aber kein Einwand, und zwar deshalb nicht, weil solche unterseeischen Verlängerungen der Stromläufe tatsächlich vorhanden sind.

Man kann im heutigen Stande unseres Wissens diese Tatsache zwar noch nicht als einen Beweis für die Realität der vermuteten Senkungen des Meeresspiegels anführen, weil ihr Zustandekommen zweifellos teilweise auch auf anderen Ursachen beruht. Aber jedenfalls ergibt sich von dieser Seite aus keine unseren Erwägungen entgegretende Schwierigkeit.

Nach der obigen Überlegung, ob und wie man die alten Eiszeiten, insbesondere die permokarbonische, verstehen könnte im Rahmen eines Bildes der Erdgeschichte, welches die Diracsche Hypothese zugrunde legt, wird endlich die Frage dringlich, wie denn die letzte Eiszeit, das Diluvium, in diesem Zusammenhang zu beurteilen wäre. Wir sind ja zu dem Ergebnis gekommen, daß diese Eiszeit eine völlig andere, neuartige gegenüber den alten, früheren Eiszeiten ist: erstmalig eine Eiszeit, die nicht unter geschlossener Wolkendecke stattfand und zu polarer statt vorzugsweise äquatorialer Vereisung führte.

Bekanntlich umfaßt das Diluvium mehrere Zeitspannen der polaren Vergletscherung, getrennt durch „Zwischeneiszeiten“, die zum Teil ausgesprochene „Warmzeiten“ waren. Unsere Gegenwart, das Alluvium, ist wohl als eine solche Pause, solche Zwischeneiszeit aufzufassen, so daß das Diluvium eigentlich noch un abgeschlossen fortdauert.

Eine Erklärung für diesen seit rund einer Million Jahren sich vollziehenden Wechsel von Vereisungszeiten mit länger dauernden Pausen hat der Geophysiker Milankowitsch angebahnt. Er hat gezeigt, daß die sommerliche Sonnenbestrahlung der Erde – auf diese kommt es an bei der Vereisung; im Winter, wenn es in den fraglichen Gebieten sowieso friert, macht etwas mehr oder weniger Sonnenbestrahlung nichts aus – aus astronomischen Gründen gewissen Schwankungen unterliegt. In Abständen von einigen Jahrzehntausenden ergeben sich Minima der

sommerlichen Bestrahlung, stark genug, um ein Wegschmelzen des Winterschnees zu verhindern; eine Vereisung beginnt (Bild links).

Diese Theorie von Milankowitsch ist vielfältig angefochten, und es ist sicher, daß sie in gewissen Einzelheiten korrekturbedürftig ist. Aber ebenso sicher scheint es, daß ihre völlige Verwerfung – zu der heute viele Spezialisten zu neigen scheinen – ganz unmöglich ist. Die Milankowitsch-Theorie in etwas verbesserter Form muß Bestandteil jeder erwägbaren Deutung des Diluviums bleiben.

Aber sie gibt gewissermaßen nur die eine Hälfte einer Erklärung der diluvialen Eiszeitercheinungen und läßt die andere Hälfte der Frage unbeantwortet. Dieser Sachverhalt ist großenteils schuld daran, daß die Milankowitsch-Theorie bis heute so vielen Zweifeln begegnet ist. Während diese Theorie uns erklärt, warum es im Diluvium den Wechsel von Vereisungszeiten und Zwischeneiszeiten gab, erklärt sie nicht, warum es vor dem Diluvium – also im Tertiär und in noch älteren Zeiten bis zum Perm zurück – keine analogen Eiszeiten gab: Die astronomischen Ursachen der diluvialen Vereisungen – schwache Störungen der Erdbewegung durch andere Planeten – waren auch vorher schon vorhanden; warum wirkten sie vor dem Diluvium nicht Eiszeit-erzeugend?

Auf diese Frage, die Milankowitsch noch offenlassen mußte, gibt die Diracsche Hypothese eine sehr einfache Antwort: Da die Abnahme der Schwerkraft eine fortlaufende Abschwächung der Sonnenstrahlung ergibt, so waren vor dem Diluvium – bis zum Ende des Tertiärs – auch die Zeitabschnitte kühler Sommer noch nicht kalt genug, um ausgedehnte Vereisungen in den Polar gebieten zustande kommen zu lassen. Die nach Milankowitschs Ergebnissen noch fehlende Hälfte einer Erklärung des Diluviums wird also durch die Diracsche Hypothese geliefert.