

mit Gebirgsbildung. Bei einem Wärmestrom von 2500 cal/qcm. Jahr, wie er zur Zeit der tertiären Gebirgsbildung vielleicht vorhanden war, ergibt sich eine Temperaturerhöhung von 5<sup>6</sup>.

Die Theorie von A. Wagner hängt davon ab, ob der Wärmestrom, der aus dem Zerfall der radioaktiven Substanzen entsteht, mit genügender Stärke bis an die Erdoberfläche dringt, oder ob die Energien für Gesteinsumschmelzungen und gebirgsbildende Vorgänge verbraucht werden. Eine Frage, deren Beantwortung den Geophysikern, Geologen, Petrographen und Chemikern zukommt. Wirkt sich die Über- oder Unterschreitung bestimmter Temperaturen am Gletschergrund, die damit zu kritischen Temperaturen aufrücken, in einer beachtlichen Erhöhung, bzw. Minderung der Gletscherbewegung aus, so wird jeder Wärmestrom, der dazu beiträgt, wichtig. Ein gesteigerter Wärmestrom aus dem Erdinneren erhöht wohl die Eisplastizität und damit die Fließfähigkeit; umgekehrt verringert sie sich.

Fällt eine Anzahl klimatischer Gunstfaktoren mit einer Minderung der Eisabflußverhältnisse zusammen, so sind die Bedingungen für eine Großvereisung gegeben. Großvereisung bedeutet nicht Eiszeit, das sei hier ausdrücklich betont. Bei ihr kommt das Moment der Wiederholung hinzu. Eine Großvereisung läßt sich dagegen schon allein durch Summierung von Gunstbedingungen hinreichend begründen.

## **Dehnt sich die Erde aus?**

Von Kurt Himpel, Heidelberg.

Einer der charakteristischen und auch erfreulichsten Fortschritte der naturwissenschaftlichen Zusammenarbeit der letzten Jahrzehnte ist die bewußte Abkehr vom Spezialistentum vergangener Zeiten. Insbesondere Geographie und Geologie haben erkannt, wie unerläßlich wichtig eine Zusammenarbeit mit den vielfach exakter durchgearbeiteten Nachbargebieten der Geophysik und nicht zuletzt auch der Astrophysik und Kosmogonie ist. Der Anstoß hierzu kam nicht von ungefähr, vielmehr waren es eine ganze Reihe speziell von der Geologie aufgezeigter Merkwürdigkeiten, die sich mit den bis dahin herrschenden Theorien nicht mehr erklären ließen. Vor allem anderen ist hier die Entdeckung der permokarbonischen Eiszeiten zu erwähnen, die eine völlige Umwälzung in verschiedenen Vorstellungen vom Ablauf der Erdgeschichte mit sich brachte. Kilometerdickes Eis in Indien und gleichzeitig tropisches Klima in vielen Gegenden der Nordhalbkugel ist ohne die Annahme grundlegender Abweichungen des gesamten Erdbildes gegenüber heute nicht faßbar. Eigenartig waren aber auch verschiedene Ergebnisse der Tier- und Pflanzengeographie, die in der geologischen Vergangenheit fast überall viel engere Verbindungen zwischen den Kontinenten forderten, als sie es heute sind. Die Annahme von Landbrücken oder gar ganzen Zwischenkontinenten ist aber, abgesehen von der Frage, wo die Wassermassen der Ozeane geblieben sein sollen, auch mit den Ergebnissen der Geophysik, speziell der *I s o s t a s i e*, nur schwer vereinbar. Schließlich hatte man auch über die Entstehung der Gebirge immer noch keine befriedigende Theorie, nur mehr oder weniger gekünstelte Darstellungsversuche.

Alle jene Eigentümlichkeiten wurden in ein neues Licht gerückt durch die von Alfred Wegener<sup>1</sup> im Jahre 1912 aufgestellte Pol- und Kontinentenver-

<sup>1</sup> A. Wegener, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. „Die Wissenschaft“, Bd. 66, Braunschweig (1929). — Köppen-Wegener, Die Klimate der geologischen Vorzeit, Berlin (1924).

schiebungshypothese, über die auch heute noch die Diskussion im Gange ist. Wenn ihr, speziell in der Geologie, ein endgültiges Sichdurchsetzen versagt bleiben mußte, so aus zwei Gründen: 1. Die Theorie hatte in den eigenen Reihen nicht genügenden Rückhalt; wohl war die Vorstellung vom Gegensatz von Kontinent und Ozean sehr gut mit der Isostasie vereinbar, aber der dynamische Teil jener Hypothese schien schwer begründbar, nachdem zuverlässige Rechnungen ergeben hatten, daß zur Verschiebung von Kontinenten mindestens millionenfach größere Kräfte erforderlich waren, als sie die minimalen Kräfte der Gezeitenreibung (Westdrift) und die Polfluchtkraft zu liefern vermochten, und daß selbst diese millionenfach größeren Kräfte die Kontinente nur dann verschieben könnten, wenn alles wirklich aalglatt vor sich ging, daß sie aber ihrerseits wieder mindestens millionenfach größer sein müßten, wenn man durch die Kontinentenverschiebung ganze Gebirgszüge aufbauen wollte. Es kam also ein Unstimmigkeitsfaktor von der Größenordnung  $10^{12}$  in das Problem hinein. 2. Die Verschiebungshypothese wirkte sich für die Geologie so ähnlich aus wie eine Zwangsjacke. Dem geologischen Denken, das in den Kontinenten ein kompliziertes, von unten her aufzubauendes Gebilde sieht, wird hier nur der alleräußerste Umriß gegenübergestellt, genau so, als wenn man einen Menschen ausschließlich nach seinem Anzug und nicht nach seinem Inneren beurteilen wollte.

Alle diese Schönheitsfehler hätte man aber wohl in Kauf nehmen müssen, wenn nicht die genaue Prüfung große Schwierigkeiten auch der paläoklimatischen Grundlagen der Hypothese ergeben hätten, speziell ein ziemliches Versagen gegenüber anderen Erdzeitaltern, so daß der unbestreitbare Gewinn im Permokarbon durch ein erhebliches Defizit vor- und nachher fast wieder zunichte gemacht würde<sup>2</sup>. Die tier- und pflanzengeographischen sowohl als auch die tektonischen Argumente sind ihrerseits aber noch zu umstritten, um allein von sich aus, ohne physikalische Begründung, einen Faktor von  $10^{12}$  in Kauf zu nehmen.

Neue Versuche müssen daher notwendigerweise über eine bessere physikalische Grundlage verfügen. Vor allem dürfte der Impuls nicht mehr in die Kontinente, sozusagen als alleräußerstem Angriffspunkt, sondern vielmehr in den säkularflüssigen Untergrund zu verlegen sein, wo Kräfte ganz anderer Größenordnung zur Verfügung standen. So befaßten sich zahlreiche Arbeiten mit dem Problem der Unterströmungen, von denen die kürzlich erschienene ausführliche Diskussion von Schwinner<sup>3</sup> hier besonders hervorgehoben werden möge. Unter weitgehender Heranziehung der Ergebnisse über Radioaktivität arbeitete schließlich Kirsch<sup>4</sup>, fußend auf älteren Ideen Jolys, die sogenannte Radioaktivitätshypothese näher aus. Entgegen der früher für selbstverständlich gehaltenen Annahme einer fortschreitenden Kontraktion der Erde durch Wärmeverlust tauchte nun das entgegengesetzte Problem auf, wohin das Mehr an Wärme gelangen sollte, das die radioaktiven Substanzen erzeugten. Die Joly-Kirschsche Radioaktivitätshypothese sieht in zyklisch auftretenden Kontinentalverschiebungen, bzw. Ableitung des Wärmestromes.

<sup>2</sup> Kerner Marilaun, Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bd. 86 (1934), Heft 2. — Himpel, Meteorologische Zeitschrift, Bd. 55 (1938), S. 256.

<sup>3</sup> Gerlands Beiträge zur Geophysik, 58 (1941), S. 119—158.

<sup>4</sup> Geomechanik, Leipzig (1938).

durch Erwärmung des Weltmeeres einen gangbaren Ausweg vor; der wunde Punkt dabei ist nun der, daß wir über die Verteilung der radioaktiven Substanzen in tieferen Erdschichten nichts Zuverlässiges wissen, nachdem wir heute mit Sicherheit behaupten dürfen, daß die Meteoriten als Vergleich zum Erdinnern unter keinen Umständen in Frage kommen <sup>5</sup>.

Einen noch mehr an moderne Gedankengänge der Astrophysik und Kosmogonie anlehenden Versuch hat kürzlich Keindl<sup>6</sup> vorgetragen, der selbst als unabhängige Vorläufer seiner Idee zwei weitere Autoren aufführt (S. 13). Die klassische Kosmogonie, wie sie vor allem in der von Laplace 1794 aufgestellten Hypothese der Entstehung unseres Planetensystems gipfelte, sah eine weitgehende Sammlung des Weltenraumstoffes unter Einwirkung des Gravitationsgesetzes vor, und in ihr wurzelt die geistesverwandte Kontraktions-theorie der Geologen. Beide Theorien haben zwar auf der ganzen Linie versagt, sie erwiesen sich aber, da sie weltanschaulich sehr gut fundiert waren, als äußerst zählebig. Nun haben zahlreiche Beobachtungen uns darüber belehrt, daß im Weltenraum nicht dauernd eine Zusammenballung der Materie stattfindet, sondern daß auch Prozesse wirksam sind, die eine Ausdehnung, ja vielfach eine weitgehende Zerstreuung der Materie hervorrufen. Das ganze Universum befindet sich zur Zeit allem Anschein nach in einem Zustand der Ausdehnung, und dieselbe Ursache dürfte es auch sein, die Ausdehnung und Gestalt der Spiralnebel verursacht. Das Planetensystem war allem Anschein nach früher viel enger als heute und wurde ausgedehnt, das System Erde-Mond schließlich war ebenfalls früher viel enger als heute. Die Novae sowie verschiedene Veränderliche, so speziell die vom Typus P Cygni, zeigen uns Abstoßung der äußeren Schichten in den Weltenraum. Wollte man also auch hier das weltanschauliche Moment — das bei den früheren Hypothesen eine solch große Rolle spielte — in den Vordergrund schieben, so hätte der Gedanke einer Ausdehnung an Stelle desjenigen einer Kontraktion des Erdballes durchaus Berechtigung. Jener Gedanke ist es auch, den Keindl in seinem hier zur Besprechung gelangenden Buche ausgearbeitet hat, u. zw. zerfällt seine Untersuchung im wesentlichen in folgende zwei Hauptteile:

1. Der Versuch der Erklärung der Großmorphologie der Erdoberfläche durch die Annahme vertikaler Bewegungen größeren Ausmaßes in der Erde.
2. Der Versuch einer Begründung dieser Annahme durch astrophysikalische Analogieschlüsse.

Punkt 1 geht aus von der Annahme, daß die Erde im Urzustand ziemlich gleichförmig von einer Sialhaut bedeckt war, über der ebenfalls ziemlich gleichmäßig Wasser und Atmosphäre lagerten. Diese Sialhaut riß dann auf durch den Druck der darunterliegenden plastischeren Simamassen. Wann dieses erste Aufreißen erfolgte, ist nicht genau bekannt, jedenfalls weit in vorgeologischer Zeit. Die Sialhaut war nicht plastisch genug, um unter dem Druck des Simas sich gleichmäßig zu verbreitern, sondern riß an irgendwie etwas

<sup>5</sup> Eine eingehende Kritik dieser Hypothese sowie verwandter Gedankengänge hat nach Abschluß dieser Arbeit R. Schwinner (Gerlands Beiträge zur Geophysik, 58, Heft 3/4) gegeben.

<sup>6</sup> Dehnt sich die Erde aus? München-Solln (1940). Vgl. auch den nach Abschluß der vorliegenden Arbeit erschienenen Artikel von Keindl in Gerlands Beiträge zur Geophysik, 58 (1942), Heft 3/4.

schwächeren oder weniger plastischen Stellen auf: es entstand das erste Ozeanbecken, und dies war zweifellos der Pazifik. Ganz allgemein sprechen aber die teils spalten-, teils kreisförmigen Umriss der großen Ozeanbecken für eine solche Entstehungsweise. Weiter wird das vom Verfasser „Ozeanscheu“ genannte Fehlen größerer Inseln in den großen Ozeanen erörtert (S. 18), das er durch Kräfte erklärt, die von den Zentren dieser Ozeane nach außen wirken und die dem seitlichen Druck der aufsteigenden Sialmassen entstammen. Es folgen als weitere Evidenz für die Sprengung der Sialmassen die schon von Wegener untersuchten Inselgirlanden sowie auch die knopflochartigen Umriss der Nebenmeere. Auf S. 23 geht Verfasser dann auf die von der Tier- und Pflanzengeographie aufgezeigte zunehmende Isolierung der Kontinente ein und auf jenen im Verlauf der Erdgeschichte immer deutlicher zum Ausdruck kommenden Gegensatz zwischen Kontinent und Ozean, der ja in seiner heutigen Schärfe bekanntlich erst ein Produkt der Tertiärzeit ist. Diese Verhältnisse ließen sich gut verstehen, wenn das Volumen der Erde sich vergrößert hätte. Hierfür spricht auch die Zunahme der Zahl und Ausdehnung der Ozeanbecken, da der Atlantik sowie auch der Indik wesentlich jünger sind als der Pazifik.

Die Erklärung der Gebirgsbildung zeigt naturgemäß Ähnlichkeit zu denjenigen, der sich auch die Verschiebungshypothesen bedienen. Das aufsteigende Sial übt auf die Sialmassen sowohl einen Druck von unten her als auch einen seitlichen Druck aus. Die wesentliche Schwierigkeit früherer Hypothesen, die den Impuls zumeist in die Kontinente selbst verlegten, wäre damit überwunden, und auch das Energieproblem sähe ganz anders aus. Eine Faltung wird sich nun nicht an allen Stellen einer großen Sialmasse (Kontinent), sondern vor allem dort einstellen, wo die Kontinentalmassen relativ am plastischsten sind. Dieser Vorgang scheint zunächst im Widerspruch zu stehen mit der Isostasie, und man muß annehmen, daß zur Zeit stärkeren Druckes von unten keine isostatische Einstellung vorhanden ist, und erst nach Nachlassen dieses Druckes wird sie sich ganz allmählich einstellen (S. 31). Wie analog bei allen anderen Hypothesen muß man auch hier annehmen, daß der Vorgang der Ausdehnung des Erdkörpers sich mehr oder weniger diskontinuierlich vollzieht. Soweit der erste Teil.

Mit Recht betont Keindl (S. 33), daß eine ausreichende Erklärung der Großmorphologie der Erdoberfläche der Hypothese der Ausdehnung der Erde schon als Arbeitshypothese Existenzberechtigung verleihen würde, selbst wenn eine physikalische Begründung zur Zeit nicht möglich wäre. Da bei diesem Versuch, so sehr er auch vorläufig auf Analogieschlüssen beruht, doch weitgehend die Ergebnisse der modernen Astrophysik und Kosmogonie verwertet werden, verdient er zweifellos erhöhte Beachtung auch seitens dieser Zweige der Naturwissenschaft. Daß eine Ausdehnung größeren Ausmaßes nicht von Vorgängen in den äußersten Schichten hervorgerufen sein kann, darf als Gewißheit gelten, es muß das Erdinnere, über dessen Zustand wir bekanntlich nur sehr dürftige Kenntnisse besitzen, daran beteiligt sein. Unter Hinweis auf die Existenz der weißen Zwerge mit ihren Dichten von der Größenordnung  $10^5 \text{ g/ccm}$  nimmt Keindl an, daß derartige Kerne in jedem Fixstern vorhanden seien und es von den Vorgängen in diesem Zentralkern abhängen, in welchem Zustande sich die von uns beobachtete Oberflächenmaterie befindet<sup>7</sup>. Die vollkommen neue und in ihren Konsequenzen noch nicht zu über-

<sup>7</sup> Keindl bringt auf S. 42 einen von Jeans angeführten weißen Zwerg (offenbar hat Jeans A. C. +  $70^\circ 8247$  gemeint), bei dem man anfänglich auf eine Dichte

sehende Annahme Keindls ist nun die, daß auch im Innern der Erde ein derartiger Kern entarteter Materie von etwa 100 km Durchmesser sich befindet (S. 43), durch dessen Ausdehnung, bzw. Zerfall der Erdmantel entstanden sei. Die einzelnen Zonen des Erdmantels sollen die Hauptphasen des Zerfalles darstellen. Ganz allgemein gesprochen würde sich nach dieser Theorie die bisherige Vorstellung vom Ablauf der Entwicklung im Weltall gerade umkehren: überall finden wir Zerstreuung und Zerfall von Materie, sei es, wie schon erwähnt, bei der Ausdehnung des Universums und der Spiralnebel oder beim Planetensystem usw.

Dem Versuch einer kritischen Wertung möchte ich als zusammenfassendes Urteil voranstellen: Es handelt sich um eine Idee von heute zwar noch schwer abzusehender Tragweite, die jedoch heute schon mindestens dieselbe Berechtigung und beobachtungsmäßige Begründbarkeit besitzen dürfte wie die über ein Jahrhundert dominierenden kosmischen und geologischen Kontraktionsvorstellungen. Die nächstliegende Aufgabe dürfte es daher sein, Punkte, die besonderer Ausarbeitung bedürfen, herauszustellen. Es wären dies unter anderem folgende:

1. Im einzelnen müßte noch, wie es Keindl auch an verschiedenen Stellen andeutet (S. 21/22, 30/31), durchgearbeitet werden, inwieweit die Ausdehnungshypothese mit der Isostasie vereinbar ist, bzw. inwieweit sich letztere aus jener Hypothese direkt ableiten läßt.

2. Wie Schwinner<sup>8</sup> und ich<sup>9</sup> gezeigt haben, ist die Erdgeschichte doch nicht so autonom abgelaufen, wie vielfach angenommen wird, sondern zum mindesten ist die Entwicklung des Systems Erde-Mond eng mit der eigentlichen Erdgeschichte verknüpft. Auch Keindl weist (S. 26, 32) auf die Analogie der Morphologie der Mondoberfläche mit der der Erde hin. Es müßte jedoch eine viel engere Zusammenarbeit versucht und speziell dem Pazifikbecken eine uranfängliche Sonderstellung eingeräumt werden. Soweit ich es zu übersehen vermag, würde diese Zusammenarbeit der Ausdehnungshypothese nur Vorteil bringen.

3. Die Ansicht Keindls (S. 39), daß sich die normalen Sterne von den weißen Zwergen nur durch den Besitz einer hohen Atmosphäre unterscheiden (sogenanntes Kernmodell), ist durchaus hypothetisch. Vielmehr dürfte auch im Innern der normalen Sterne die Dichte von der Größenordnung  $10^2$  g/ccm und die Temperatur von ungefähr  $10^7$  Grad anzutreffen sein. Stark positiv für seine Gedankengänge könnte aber der Umstand sein, daß die anfänglich befürwortete Stellung der weißen Zwerge als irgendein Endprodukt der Sternentwicklung heute wieder fraglich ist, vor allem, nachdem Eddington gezeigt hat, daß der Wasserstoffgehalt der weißen Zwerge nicht geringer ist als der normaler Sterne. Es ist also durchaus mit der Möglichkeit zu rechnen, daß zukünftige Untersuchungen die weißen Zwerge an den Anfang der Sternentwicklung setzen, und wir hätten hier die unmittelbare Analogie zu Keindls Theorie der Entwicklung des Erdkörpers durch sukzessiven Zerfall uranfänglich überdichter Materie.

von sogar  $10^7$  g/ccm schloß. Diese hohe Dichte hat sich nicht bestätigt. Die Dichten der weißen Zwerge sind also nach wie vor von der Größenordnung  $10^5$  g/ccm.

<sup>8</sup> Lehrbuch der physikalischen Geologie, Bd. I, Berlin (1936), S. 288 ff.

<sup>9</sup> Erdgeschichte und Kosmogonie, Leipzig (1940), S. 116 ff.