

# Dirac-Hypothese und Erdexpansion

Von Professor Dr. P. Jordan, Hamburg

## 1. Realität der Erdexpansion

Eine von Dirac 1937 ausgesprochene hypothetische Vermutung hat seitdem eine Reihe von Physikern zu anschließenden theoretischen Untersuchungen angeregt, hat aber doch bei der Mehrzahl der Physiker bis heute wenig Aufmerksamkeit gefunden. Aufgrund gewisser kosmologischer und mikrophysikalischer Überlegungen ist Dirac damals zu der Vermutung gekommen, daß die *Gravitationskonstante*  $\kappa$  in Wirklichkeit gar nicht konstant, sondern in dem uns zugänglichen Teil des Kosmos in sehr langsamer Abnahme begriffen sei.

Grundsätzliche Überlegungen Dickes zum Problem der Gravitation haben später zu Vermutungen geführt, die sich mit derjenigen Diracs eng berühren bzw. schließlich auf Gleiches hinauslaufen. Dicke hat andererseits in glänzenden experimentellen Untersuchungen die Präzision von Gravitations-Experimenten wesentlich erhöht. Aber einer unmittelbaren experimentellen Prüfung der Diracschen Hypothese sind wir wohl trotzdem noch nicht so weit näher gekommen, daß die Erreichung dieses Ziels in absehbarer Zeit erhofft werden könnte. Diejenigen theoretischen Untersuchungen, in welchen geklärt wurde, wie die Einsteinsche Gravitationstheorie zu erweitern ist, wenn dem Diracschen Gedanken Rechnung getragen wird, haben deshalb bislang noch keine eigentliche Beziehung zur empirischen Forschung gewinnen können. Jedoch ist in anderer Richtung inzwischen eine Verbindung der Diracschen Hypothese mit der empirischen Naturwissenschaft zustandegekommen, und es haben sich Diskussionen ergeben, an denen sich ein zwar noch kleiner, aber wachsender Kreis von Spezialisten verschiedener Gebiete lebhaft beteiligt.

Für die Denkweise des Physikers liegt es zwar nahe, Auskünfte über physikalische Grundgesetze nur von rein physikalischen Experimenten zu erhoffen und die mit der Erde und ihrer Geschichte beschäftigten Zweige der Naturforschung nur als *Anwendungsgebiet* physikalischer Gesetze zu betrachten. Jedoch liegt es nun einmal im Wesen der Diracschen Hypothese, daß die aus ihr zu folgernden Effekte erst innerhalb großer, auf mindestens  $10^8$  Jahre bemessener Zeiträume deutlich in Erscheinung treten sollten, während innerhalb kürzerer Zeiten diese Effekte auf Sonderfälle schwer erfaßbarer Feinheiten beschränkt sein müssen.

Andererseits ist die Erde gegenüber den zahllosen sonstigen Himmelskörpern ausgezeichnet durch die Eigenschaft, ein auch im kosmologischen Zeitmaß beachtlich *alter* Körper zu sein, und andererseits *derjenige*, der uns die ausführlichste, genaueste Untersuchung erlaubt. Daher erscheint es bei näherer Erwägung doch gar nicht ungläubhaft, daß gerade Wissenschaften wie Geophysik und Geologie uns vielleicht Prüfungsmöglichkeiten für die Diracsche Hypothese bieten könnten.

Tatsächlich ist nun das Thema der *Erdexpansion* in den letzten Jahren zu einem vielfach erörterten Diskussionsgegenstand geworden, für manche Verfasser zunächst ganz unabhängig von der Diracschen Hypothese, bei anderen ausdrücklich aus dem Wunsche heraus, Unterlagen für eine empirische

Beurteilung dieser Hypothese zu gewinnen. Es scheint deshalb nicht unberechtigt, eine Zusammenfassung dessen zu versuchen, was bislang im Rahmen dieser Diskussionen zutage getreten ist, und dabei neben dem Thema der Erdexpansion auch sonstige im Laufe der Jahre in Gang gekommene Diskussionen einzubeziehen, die anderweitige Zusammenhänge zwischen der Diracschen Hypothese und empirischen Tatsachen betrafen.

Die Geologen waren ungefähr ein Jahrhundert lang überzeugt, daß der Erdkörper in einem Vorgang allmählicher Schrumpfung begriffen sei: Diese Kontraktionstheorie fand ihre Unterlage vor allem in den Erscheinungen der Gebirgsfaltung, die zu der anschaulichen Deutung herauszufordern schien, daß die äußere Haut der Erde gewissermaßen Runzeln infolge einer Verkleinerung des Erdkörpers bekommen habe. Die moderne Entwicklung der Geologie ist zwar in der genaueren Untersuchung von Gebirgsfaltungen keineswegs zu Ergebnissen gekommen, die der Kontraktionstheorie günstig wären. Als eine fast ausnahmslos gültige Gesetzmäßigkeit hat man insbesondere erkannt, daß gerade die Gipfelgebiete großer Faltengebirge aus Sedimenten gebildet sind — daß also dem eigentlichen Beginn der Auffaltung ein Vorgang des Einsinkens, die Bildung einer Geosynklinale vorausgegangen sein muß. Trotzdem haben die ersten Verfasser, die den Gedanken einer Erdexpansion in Erwägung zogen, sich damit recht kühn in Gegensatz zu vorherrschenden Meinungen gestellt.

Jedoch soll hier nicht auf die historischen Anfänge der Expansionstheorie der Erde eingegangen werden. Statt dessen sei von einer ozeanographischen Entdeckung ausgegangen, die vor einer Reihe von Jahren durch Ewing, Heezen, Tharp gemacht wurde. Es handelt sich dabei um das Vorhandensein eines riesigen, die ganze Erdkugel umspannenden Spaltensystems, dessen Hauptteile in Tiefseegebieten liegen — dabei stehen jedoch die großen auf verschiedenen Erdteilen vorhandenen *Grabenbrüche* in offensichtlicher Verbindung mit diesen ozeanischen Spalten: Vielfach setzen sich Arme des ozeanischen Systems in kontinentalen Grabenbrüchen fort. Schon diese Grabenbrüche sind wohl auffällig genug, um eine ebenso grundsätzliche Deutung herauszufordern, wie sie seinerzeit den Gebirgsketten gewidmet worden war; auch liegen ja manche Beispiele, wie die oberrheinische Tiefebene sowie andererseits Palästina und das Rote Meer in Ländern, deren wissenschaftliche Erforschung schon seit langer Zeit im Gange ist. Die besonders auffälligen Grabenbrüche Ostafrikas sind allerdings erst in neuerer Zeit wissenschaftlich bearbeitet worden. Ohne an diesem Orte auf Einzelheiten der Beweisführung einzugehen (diese Beweisführung ist allerdings auch als solche von großem Reiz), können wir aussprechen, daß eine weitgehende Einigkeit diesbezüglicher Spezialisten darüber besteht, daß das große System der ozeanischen Risse und kontinentalen Grabenbrüche Anzeichen einer im Gange befindlichen allmählichen Expansion des Erdkörpers sind.

Über das Maß oder Tempo dieser Expansion bestehen allerdings noch erhebliche Urteilsverschiedenheiten auch unter denjenigen Verfassern, die die Realität der Erdexpansion (und ihr Zutagetreten in den erwähnten Spalten und Grabenbrüchen) entschieden anerkennen. Insbesondere Dicke sieht die Erdexpansion als so langsam an, daß sie kaum als Erklärungsgrundlage für weitere, über das Auftreten von Expansionsrissen weit hinausgehende geophysikalische Beobachtungstatsachen benutzt werden könnte.

Jedoch liegt es nahe, in diesem Zusammenhang der bedeutungsvollen Erkenntnisse zu gedenken, die durch Alfred Wegener begründet worden sind. Die Verschiedenheit von Land und Meer auf der Erdoberfläche ist ja durchaus nicht etwa so zu beschreiben, daß in unregelmäßiger Weise verschiedene Höhenstufen der festen Erdoberfläche vorhanden und die tiefer gelegenen nach Maßgabe der vorhandenen Wassermenge von Meeren bedeckt sind. Sondern die hypsographische Beschreibung der Erdoberfläche läßt eine ausgeprägte Zweistufigkeit erkennen, in der *Kontinentalflächen* und *Tiefseegebiete* deutlich zu unterscheiden sind. Die in diesem Sinne definierten Kontinentalflächen umfassen nicht nur die Landgebiete, sondern auch die an sie anschließenden Gebiete von Flachmeeren, die „Schelfe“. Die Grenzlinie zwischen Kontinent und Tiefsee ist fast überall durch einen recht steilen *Kontinentalabhang* definiert, der also im allgemeinen im Meere liegt, und nur stellenweise mit der Küstenlinie zusammenfällt. Der durchschnittliche Höhenwert der Kontinentalflächen stimmt „zufällig“ nahe mit der Meeresoberfläche überein; der Tiefseeboden liegt bei durchschnittlich minus 5 000 m.

Darüber hinaus hat die von Wegener so stark befruchtete Erforschung der Kontinente deutlich gemacht, daß diese petrographisch-chemisch aus einem Material bestehen, das (als „SIAL“ bezeichnet) verschieden ist von dem tiefer liegenden „SIMA“-Gestein. Dabei ist letzteres von größerer Dichte als das SIAL, und die SIAL-Schollen schwimmen in *isostatischem* Gleichgewicht auf und in dem schwereren SIMA. Bekanntlich ist die Bedingung isostatischen Schwimmgleichgewichts so weitgehend erfüllt, daß lokale Ausnahmen als „Gravitationsanomalien“ auffallen.

Daraus ist eine wichtige Folgerung zu ziehen, deren grundsätzliche Bedeutung in einer langen Reihe geophysikalisch-geologischer Theorien nicht ausreichend gewürdigt worden ist. Da die höheren Gebirge der Kontinentalgebiete nur einen sehr geringen Flächen-Anteil ausmachen, so sind auch die unter ihnen liegenden sialischen „Wurzeln“ von entsprechender enger flächenmäßiger Begrenzung; oder anders gesagt: Die Sial-Schicht der Erdoberfläche, obwohl nur etwa 40% bedeckend, hat in auffälliger Approximation überall die gleiche Schichtdicke, soweit sie überhaupt vorhanden ist.

Wegener war überzeugt, daß ein „Schwimmen“ der Kontinentalschollen im SIMA vorläge nicht nur im Sinne eines Tauch-Gleichgewichtes, sondern auch im Sinne einer verhältnismäßig großen Beweglichkeit — derart, daß verhältnismäßig geringe Horizontalkräfte zu Bewegungen der Schollen im Sima führen könnten. Nun ist geologisch-paläontologisch bekannt, daß Afrika und Südamerika in geologisch früher Zeit Teile eines einzigen großen Kontinents „Gondwana“ gewesen sind; und ältere Geologen meinten, daß zwischen diesen Kontinenten früher eine „Landbrücke“ bestanden habe, die dann später „abgesunken“ sei, dadurch den südlichen Teil des Atlantik entstehen lassend. Das Wort „Absinken“ hat in der älteren Literatur eine große Rolle gespielt; und noch heute ist es gelegentlich als eine sehr moderne, nur von einer Minderheit der Geologen geteilte Überzeugung bezeichnet worden, daß es ein solches „Absinken“ niemals gegeben habe. In der Tat schließen die skizzierten modernen Vorstellungen vom Unterschied der Kontinentalschollen und der Tiefseegebiete eine Verwandlung von Kontinentalflächen in Tiefseegebiete vollkommen aus.

Wegeners Überlegungen erreichten ihren Höhepunkt in seiner neuartigen Deutung des alten Gondwana-Kontinents: Er wies darauf hin, daß die Küstenlinien Afrikas und Südamerikas eng zusammenpassen, und behauptete, daß diese Kontinente *zusammengelegen* hätten, bis sie sich trennten und durch „Kontinentaldrift“ voneinander immer weiter entfernten.

Gegen diesen verlockenden Gedanken erhob jedoch Jeffreys zwei schwerwiegende Einwände, die dann dazu geführt haben, daß die Geologen für einige Jahrzehnte fast einheitlich zur Verwerfung der Wegenerschen Theorie kamen. Die zwei Einwände lauteten:

1) Das Zusammenpassen der Küstenlinien ist doch ungenau genug, um seine Deutung als bloße Zufälligkeit möglich zu machen.

2) Man kann physikalisch berechnen, welche Größenordnung von Horizontalkräften erforderlich wäre, um eine Verschiebung von Kontinental-schollen im Sima möglich zu machen. Das Ergebnis dieser Rechnung läßt Kontinentalverschiebungen im Sinne Wegeners als physikalisch unmöglich erscheinen.

Jedoch ist in den letzten Jahren die Frage Afrika/Südamerika durch den Australier Carey erneut untersucht worden, von folgender Erwägung aus: Da die Küstenlinien keineswegs übereinstimmen mit den wahren Grenzen der Kontinente — nämlich mit den beiderseitigen Kontinentalabhängen —, so kann man gar nicht erwarten, daß die Küstenlinien genau zusammenpassen würden. Wie sieht die Sache aus, wenn man nicht die Küsten, sondern die Schelfgrenzen zusammenzupassen versucht, unter Benutzung moderner ozeanographischer Messungsergebnisse? Die von Carey erarbeitete Antwort ist von verblüffender Eindeutigkeit: Die beiderseitigen Kontinentgrenzen passen nicht nur viel besser als die Küstenlinien zusammen; sondern sie passen in so hochgradiger Vollkommenheit zusammen, daß Jeffreys erster Einwand völlig ausgeschaltet wird. Kein Mensch kann heute mehr bezweifeln, daß die beiden Kontinente früher zusammenlagen; und zwar scheint der große Grabenbruch, mit dessen Bildung die Trennung begonnen hat, gerade dort gelegen zu haben, wo heute die den Atlantik von Süden nach Norden durchlaufende ozeanische Expansionspalte liegt. Aber damit ist der zweite Einwand von Jeffreys noch keineswegs aus der Welt geschafft.

Heute besitzt eine gewisse ad hoc-Hypothese verbreitete Anhängerschaft, die den zweiten der Einwände Jeffreys außer Kraft setzen und damit eine volle Erneuerung der Vorstellungen Wegeners möglich machen möchte. Dies ist die Hypothese, daß im Material des Erdmantels eine ganz langsame Bewegung ständig im Gange sei und daß diese „Konvektionsströme“ im Mantel auch die Kontinental-schollen in langsame Bewegung setzen, Kontinentalverschiebungen im Sinne Wegeners zustande bringend.

Im Rahmen eines Buches, das in Kürze erscheinen soll, und welches das Gesamtfeld der hier berührten Themen mit einer gewissen Gründlichkeit zu klären versucht, habe ich auch ausgeführt, daß ich diese Hypothese der langsamen Konvektionsströme im Erdmantel aus physikalischen Gründen als verfehlt ansehe. In der vorliegenden Betrachtung will ich lediglich andeuten, wie man m. E. statt dessen zu einer physikalisch einwandfreien Deutung der Tatsachen kommen kann.<sup>1)</sup>

1) P. Jordan, Die Expansion der Erde. Verlag Vieweg, Braunschweig 1966

## 2. Theorie der Kontinente und Ozeane

Das Thema einer erwägbaren Erdexpansion hängt offenbar davon ab, welches Tempo wir der von Dirac vermuteten Abnahme der Gravitationskonstante zuschreiben können. In dieser Hinsicht haben wir zunächst noch Freiheit bzw. wir können das empirisch zu ermittelnde Tempo der Erdexpansion gerade als Unterlage quantitativer Ermittlungen zur Diracschen Hypothese heranziehen. So wollen wir uns vorstellen, daß die Trennung zwischen Afrika und Südamerika *durch Expansion* des Erdkörpers bewirkt wurde: Wir benötigen dann zu ihrer Erklärung keine anderen Horizontalkräfte mehr, als diejenigen, welche durch die Druckfestigkeit und die Zerrißfestigkeit der Sialschollen gegeben sind.

Wenn wir diesen Erklärungsversuch ernsthaft in Betracht ziehen, so gewinnen wir einige Hoffnung, eine der großen Fragen einer naturwissenschaftlichen Erforschung unserer Erde in Angriff nehmen zu können. Diese Frage — in früherer Zeit nur von wenigen Verfassern (wie z. B. Jeans) überhaupt als der Beantwortung bedürftiges Problem deutlich verstanden — lautet: Warum gibt es auf der Erdoberfläche die Zweiheit von Kontinenten und Ozeanen? Die *Auffälligkeit* dieses Tatbestandes ist oben mehrfach betont worden. Insbesondere ist hervorgehoben, daß die Kontinentalschollen, soweit überhaupt vorhanden, in guter Approximation gleichmäßige Dicke haben. Eine daraus zu ziehende Folgerung sei jetzt noch unterstrichen. In der modernen Literatur ist eine Anzahl verschiedener Theorien vorgetragen worden, die entweder eine Vergrößerung der Kontinente auf Kosten der Tiefsee oder umgekehrt eine Verkleinerung der Kontinente zugunsten der Tiefsee glaubhaft machen sollen. In diesen Theorien ist also das märchenhafte „Absinken“ älterer Literatur ausgeschaltet; andererseits ist die alte Vorstellung einer unveränderlichen Größe des Erdballs beibehalten. Alle Theorien dieser Art sind offensichtlich im klaren Widerspruch mit der Tatsache der gleichmäßigen Dicke der Kontinentalschollen. Würden diese Schollen durch irgendwelche Vorgänge („Stauchung“) in ihrer Flächensumme verkleinert, so könnte keine vorstellbare physikalische Ursache für Aufrechterhaltung der *räumlichen Konstanz* der Dicke bei *zeitlicher Veränderung* der Dicke zustandekommen. Ebenso wenig könnte Dickenkonstanz bestehen bleiben bei Vergrößerung der Kontinente.

Eine merkliche Expansion des Erdkörpers, welche die Erdoberfläche im Laufe einiger Milliarden von Jahren auf mehr als das Doppelte ihres ursprünglichen Maßes vergrößert hat, könnte aber eine Erklärungsmöglichkeit für Kontinente und Ozeane liefern. Wir kommen offenbar in folgerichtiger Durchdenkung zu dem Bilde, daß sich in sehr früher Zeit eine noch flüssige Sial-Haut kugelsymmetrisch an der Erdoberfläche gesammelt hat. Sobald diese ursprüngliche Sial-Haut sich durch Abkühlung verfestigt hatte, war sie nicht mehr imstande, die Expansion der Erde mitzumachen. Vielmehr mußte sie in getrennte Stücke zerreißen, deren Dicke und deren Flächensumme heute noch die ursprünglichen sind. (Nur die Gebirgsfaltung liefert eine gewisse, aber unerhebliche Verkleinerung der Sial-Flächensumme).

Wenn diese Vorstellung das Richtige trifft, so muß es möglich sein, in der Art eines Zusammenleg-Spieles die heutigen Kontinentalschollen zu vereinigen auf einer entsprechend kleineren Kugel, deren Radius 65 % vom heutigen beträgt. Eine solche Rekonstruktion ist tatsächlich von drei ver-

schiedenen Verfassern — Liebhabern der Wissenschaften — durchgeführt worden: Bröbke, Hilgenberg, Kirillow haben sie unternommen. Nach den oben angedeuteten Erwägungen sollte es das eigentliche Ziel der Rekonstruktion sein, die heutige Erdoberfläche verständlich zu machen durch expansive Zerreißung der Sialschicht, ohne Heranziehung zusätzlicher hypothetischer Horizontalkräfte. Die von dem Privatgelehrten L. Bröbke durchgeführte Rekonstruktion scheint mir die einzige zu sein, welche diese Forderung tatsächlich erfüllt. Ihre eingehende Überprüfung dürfte — sofern sie nicht etwa schon bald auf unüberwindliche Schwierigkeiten führt — Gegenstand eines umfangreichen Forschungsprogramms werden.

Natürlich wird man vor allem die vielen in neuester Zeit gesammelten paläomagnetischen Messungsergebnisse zur Prüfung heranziehen. Diese sind zwar zunächst von den Bearbeitern in ganz anderer Weise gedeutet worden, nämlich im Sinne der Hypothese von *Polwanderungen*. Jedoch hat dieser Deutungsversuch zu einem vollkommenen Mißerfolg geführt. Man kann zwar die in begrenzten Gebieten (z. B. Indien oder Australien oder Nordamerika) gemachten Messungen so verwenden, daß man sie zur Berechnung eines geologischen Wanderweges des Poles benutzt. Aber je nach Auswahl des Gebietes, aus welchem die Messungen stammen, bekommt man völlig verschiedene angebliche Polwege — also eine vollkommene Widerlegung der versuchten Deutung, im Einklang mit der Tatsache, daß nach den Gesetzen der Mechanik die Möglichkeit von Polwanderungen sehr unwahrscheinlich ist — sie würde rheologische Eigenschaften des Erdinnern voraussetzen, welche wohl kaum eine Ähnlichkeit mit den realen Verhältnissen haben.

Dagegen kommt man zu vernünftigen, überzeugenden Ergebnissen, wenn man die paläomagnetischen Messungsergebnisse im Sinne der Theorie der Erdexpansion deutet — wie es von Van Hilten angebahnt ist. Nach seinen Ergebnissen betrug der Erdradius im Karbon etwa 80 % des heutigen.

Damit ist nun allerdings wieder ein neues Problem gegeben. Denn die Zeit der ursprünglichen, voll von Sial bedeckten Erde liegt jetzt etwa 4 Milliarden Jahre zurück, und damals muß der Erdradius etwa 65 % des heutigen betragen haben. Andererseits gilt der von van Hilten ermittelte Wert 80 % für eine jetzt um 250 bis 300 Millionen Jahre zurückliegende Zeit; und so kommen wir zu der zunächst verdächtig aussehenden Folgerung, daß in den letzten annähernd 300 Millionen Jahren die Erdexpansion um eine Größenordnung schneller abgelaufen sein müßte, als im Durchschnitt der letzten 4 Milliarden Jahre. Man kann das so andeuten:

$$\begin{aligned} \dot{R}/R &= 10^{-10}/\text{Jahr} \text{ oder } \dot{R} = 0,5 \text{ mm/Jahr} & \dots (1) \\ &\text{durchschnittlich seit } 4 \cdot 10^9 \text{ Jahren;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{R}/R &= 10^{-9}/\text{Jahr} \text{ oder } \dot{R} = 5 \text{ mm/Jahr} & \dots (2) \\ &\text{durchschnittlich seit } 3 \cdot 10^8 \text{ Jahren.} \end{aligned}$$

Eine Lösung dieses Rätsels ergibt sich, wenn man daran denkt, daß Ramsey vor längeren Jahren dem Erdinnern eine von der konventionellen stark abweichende andere Deutung gegeben hat. Ich habe diese Ramseysche Deutung schon vor längerer Zeit zur Stützung der Theorie der Erdexpansion herangezogen, war aber später stark davon beeindruckt, daß Teller gesprochenweise ihre Vertretbarkeit bezweifelte. Warum ich jetzt doch von der

Richtigkeit des Ramseyschen Gedankens überzeugt bin, habe ich in meinem Buche dargelegt. Ramsey behauptet, daß die Grenzfläche zwischen Erdmantel und (äußerem) Erdkern nicht eine chemische Unstetigkeitsfläche sei, sondern nur eine *Phasengrenze* innerhalb eines chemisch gleichförmigen Stoffes.

Die alte, auf Wiechert zurückgehende Deutung, wonach der Erdmantel ein Silikat, der (äußere) Erdkern hingegen eine (flüssige) Fe/Ni-Legierung sei, würde eine Erdexpansion nur in der Form *elastischer Deformation* zulassen. Nach Heß und Murphy hätten wir dann aufgrund des Bullenschen Modells des Erdinneren folgenden Zusammenhang zwischen  $R$  und der Gravitationskonstanten  $\kappa$ :

$$-\dot{R}/R = 0,1\dot{\kappa}/\kappa \quad \dots (3)$$

Hat aber Ramsey recht, so wird die Expansion gegenwärtig in erster Linie durch *Phasenumwandlung* bedingt: Die im Erdkern vorliegende Hochdruckphase erleidet an der Grenzfläche Umwandlung in die um einen Faktor  $1/2$  weniger dichte, bei kleinerem Druck stabile Phase des Mantels. Durchrechnung eines sehr grob vereinfachten Modells ergab mir statt (3) das höhere Expansionstempo

$$-\dot{R}/R = 0,5\dot{\kappa}/\kappa \quad \dots (4)$$

Das ist immer noch um einen ungefähren Faktor  $1/2$  zu klein; doch kann das benutzte ganz rohe Modell nur über die Größenordnung unterrichten.

Beim heutigen Expansionsvorgang wird also die Grenzkuugel zwischen Mantel und Kern allmählich zusammenschumpfen; sie war demgemäß in älteren Zeiten *größer* als heute und muß früher einmal (und wohl für lange Zeit) nahe der Sial-Unterseite gelegen haben. *Damals* gab es also nur den *elastischen* Anteil (1) der Expansion; erst später ist der durch Phasenumwandlung begründete Expansionsanteil (2) maßgebend geworden.

Weitere empirische Tatsachen, deren Einzelheiten hier nicht besprochen werden sollen, zeigen übrigens, daß für die *gegenwärtige* Expansion die Beziehung

$$(\dot{\kappa}/\kappa) + (\dot{R}/R) = 10^{-10}/\text{Jahr} \quad \dots (5)$$

gilt.

Indem wir gemäß dem Erläuterten (1) als den elastischen Anteil der Expansion deuten, bekommen wir mit (3) die Bestätigung der Diracschen Hypothese in der quantitativen Angabe

$$-\dot{\kappa}/\kappa = 10^{-9}/\text{Jahr}$$

... (6)

Obwohl die Diracsche Hypothese, wie wir noch sehen werden, eine gewisse Verkleinerung der berechneten Werte für das Alter des Weltalls ergibt, scheint das Maß (6) für die Abschwächung der Gravitation reichlich groß — Dirac hatte ja an eine umgekehrte Proportionalität von  $\kappa$  mit dem Weltalter gedacht; das würde in (6) eher  $10^{-10}$  als  $10^{-9}$  vermuten lassen. Jedoch muß sich (6) keineswegs auf das Weltall im Ganzen (oder dessen Durchschnittswerte) beziehen, sondern könnte z. B. für das Gebiet unserer Milchstraße in Betracht kommen. Nach Ergebnissen von Kundt führen nämlich die relativistischen Feldgleichungen einer Theorie mit veränderlichem  $\kappa$  durchaus

nicht dazu, daß eine in einem Raumgebiet vorhandene Abweichung des Skalars  $\kappa$  von seinem Durchschnittswert in der Umgebung durch Auseinanderlaufen mit Lichtgeschwindigkeit verschwinden muß. Sondern sobald die Abweichung groß genug ist, um die Nichtlinearität der Feldgleichungen ins Spiel zu bringen, treten verwickeltere Verhältnisse ein.

### 3. Weitere Folgerungen aus der Diracschen Hypothese

Das Ergebnis (6) ist für eine rein physikalische Betrachtung die eigentliche Information, die wir aus der — anscheinend realen — Tatsache der Erdexpansion zu entnehmen vermögen. Jedoch wird man sich, um diese Information als wirklich gesichert ansehen zu dürfen, wünschen, mit einer gewissen abschließenden Vollständigkeit zu sehen, daß die skizzierte Auffassungswiese tatsächlich im Gesamtbild der Geophysik und Geologie widerspruchsfrei durchführbar ist. Dazu ist noch mancherlei zu sagen, was im Rahmen dieses Aufsatzes nur teilweise und nur andeutungsweise erwähnt werden kann.

Beispielsweise ist zu berichten, daß die durch Methoden kernphysikalischer Datierung erschlossene Geologie sehr alter Zeiten (bis zu drei Milliarden Jahren hin) eine Tatsache ans Licht gebracht hat, die von den Spezialisten mit der Bezeichnung „growth of continents“ versehen worden ist; von den oben erläuterten Vorstellungen aus wäre sie sachgemäßer als *Wachstum der Landgebiete* zu benennen. Egyed, einer der aktivsten geologischen Vertreter der Theorie der Erdexpansion, hat analoge Verhältnisse auch in der „klassischen“ Geologie der letzten  $5 \cdot 10^8$  Jahre nachgewiesen: Indem in der Vergangenheit die Ozeanbecken kleiner als heute waren, mußten damals entsprechend größere Anteile der Kontinentalgebiete wasserbedeckt sein. Erst in der Gegenwart sind die Ozeane groß genug geworden, um nahezu das gesamte Meereswasser aufzunehmen, die noch verbliebenen Restbestände von Schelfgebieten auf einen sehr kleinen Anteil der Kontinentalflächen beschränkend.

Das alte Problem der Faltengebirge, das früher zur Kontraktionshypothese Anlaß gab, kann nun nach Matschinski eine wirkliche Lösung finden: Die Verbiegung der Sialschollen bei Anpassung an die abnehmende Krümmung der Erdoberfläche ergibt „Quetschfalten“, wie Haber sie treffend genannt hat.

Ein bedeutungsvolles Sonderkapitel der von der Diracschen Hypothese beeinflussten Geophysik ist aber die von meinem verstorbenen Mitarbeiter Binge auf diese Hypothese gegründete Theorie des *Vulkanismus*. Solange man mit den empirischen Tatsachen nicht genauer vertraut ist, könnte man geneigt sein, den Vulkanismus als eine verhältnismäßig unproblematische Naturerscheinung anzusehen: Mancherlei Ursachen, z. B. Radioaktivität, könnten in tieferen Schichten gelegentlich Erhitzung und Aufschmelzung lokal zustande kommen lassen; und es scheint naheliegend, dies als Primärgeschehen vulkanischer Ausflüsse anzusehen. Jedoch haben wiederholt Spezialisten angedeutet, daß dieses allzu „harmlose“ Bild keineswegs den Tatsachen gerecht wird und daß im Gegenteil ganz unbekannte Ursachen zugrunde liegen müssen. Kuhn und Rittmann haben sich veranlaßt gesehen, geradezu eine revolutionär umgestaltete Theorie des Erdinnern und der Erdentstehung zu entwerfen (in einer trotz richtiger Argumente physikalisch



zweifelloso unvertretbaren Form), um überhaupt eine Erklärbarkeit des Vulkanismus möglich zu machen. Binge hat nun in eingehender Erörterung klar gemacht, daß Erhitzung und Aufschmelzung nicht als Primäreffekt vulkanischer Ausbrüche und „Intrusionen“ angesehen werden können, sondern nur als sekundäre Folgewirkungen der eigentlichen Ursache: Nämlich *Phasenumwandlungen*, bei denen Hochdruckphasen des Gesteins sich umwandeln in weniger dichte Niederdruckphasen.

Danach entsteht aber die neue Frage: Woher kommt es, daß in der Erdkruste so unerschöpfliche Vorräte thermodynamisch instabiler Hochdruckphasen vorhanden sind? Binges Antwort lautet: Sie werden fortlaufend neu zur Verfügung gestellt, indem durch Diracsche Gravitationsabschwächung und durch die daraus entstehende Erdexpansion eine fortlaufende Druckverminderung bewirkt wird.

Diese neue Theorie des Vulkanismus hat übrigens jetzt eine zusätzliche Stütze erhalten, indem hochdruckphysikalische Experimente (Riecker) es wahrscheinlich gemacht haben, daß diejenigen Erdbeben, deren Herde *unterhalb* der Erdkruste liegen, keineswegs den *tektonischen* Beben zuzurechnen sind, sondern vielmehr auf explosiven Phasenumwandlungen beruhen. So scheinen also vom nichtelastischen Anteil der Erdexpansion — unter Umwandlung von Kernmaterial in Mantelgestein — über die Erdbeben mit tiefen Herden bis zum Vulkanismus hin Vorgänge der Phasenumwandlung von beherrschender Bedeutung zu sein.

Das führt aber zu einschneidenden Folgerungen betreffs des *Mondes*: Bei ihm sind die nach der Diracschen Hypothese zu erwartenden Vorgänge der Druckentlastung so viel schwächer als im Falle der Erde, daß das Vorkommen von Vulkanismus mit Lava-Ergießung auf dem Monde nach der Bingeschen Theorie als sehr unwahrscheinlich angesehen werden muß. Ob diese Folgerung der Theorie nun den empirischen Tatsachen entspricht, kann man freilich nicht einfach durch Befragung eines selenologischen Spezialisten erfahren. Denn in der selenologischen Diskussion ist die Zahl der sich widersprechenden spekulativen Theorien oder Hypothesen fast größer als die Zahl der Beteiligten. Man muß sich die Mühe machen, den Gesamtbestand heutigen empirischen Wissens vom Mond kritisch zu prüfen. Was dann übrig bleibt, ist die Feststellung, daß *kein einziger* Anhaltspunkt gegeben ist für einen Beweis des Vorhandenseins vulkanischer Lava-Ergießungen auf dem Mond<sup>2)</sup>. Trotz der Lebhaftigkeit diesbezüglicher Versicherungen ergibt sich also im heutigen Stand der Dinge nichts, was, wenn es wahr wäre, als selenologischer Einwand gegen Binges Theorie benutzt werden könnte.

Wohl aber hat E. Teller schon vor geraumer Zeit einen sehr schwerwiegend scheinenden Einwand gegen die Diracsche Hypothese ausgeführt. Er konnte zeigen, daß die Leuchtkraft von Fixsternen sehr stark abhängig von  $\kappa$  ist: Wenn wir für frühere geologische Zeiten eine merklich größere Gravitationskonstante annehmen als heute, so ergibt sich daraus eine erheblich größere damalige Solarkonstante. Das aber scheint dem Vorhandensein organischen Lebens schon vor etwa drei Milliarden Jahren zu widersprechen — und auch, wie man hinzufügen kann, dem Auftreten von Eiszeiten schon in

2) Vergl. dazu außer dem unter 1) erwähnten Buch auch meinen Aufsatz: *Naturwiss.* 53, 117 (1966).

weit zurückliegender Vergangenheit. Jedoch hat ter Haar diesen Einwand als nicht ohne weiteres beweiskräftig erwiesen durch die Bemerkung, daß bei erheblich größerer Solarkonstante früher auch die Erfüllung der Luft-hülle mit Wasserdampf stärker gewesen sein müßte: Unter einer dauernd geschlossenen Wolkendecke könnten aber trotz heftiger Sonnenstrahlung vielleicht doch tragbare Bedingungen für organisches Leben (und, wie wir hinzufügen wollen, entsprechend auch für Vereisungen) gegeben sein.

Hiermit tritt nun auch die Paläoklimatologie in den Kreis der Wissenschaften ein, die betreffs der Diracschen Hypothese mitzureden haben. Was sie zum Thema zu sagen hat, läßt sich kaum in diesem Aufsatz miterläutern — zumal es auch in diesem Falle keineswegs möglich ist, die Spezialisten einfach zu befragen, ob die Vorstellung einer geschlossenen Wolkendecke noch in karbonischer Zeit empirisch zutreffend sei. Wir haben es hier wiederum mit einer höchst umstrittenen Frage zu tun und können, wenn wir nicht passives Abwarten vorziehen wollen, nicht den Versuch vermeiden, zu den diesbezüglichen Behauptungen und Vermutungen kritisch Stellung zu nehmen — ein etwas mühsames Geschäft, dessen Darstellung den Rahmen dieses Aufsatzes weit überschreiten würde. Aber *eine* tröstliche Aussage kann doch *sofort* gemacht werden: Da unsere von der Prüfung der Diracschen Hypothese aus entstandene Frage eine von den Spezialisten umstrittene Frage ist, so kann jedenfalls *nicht* behauptet werden, daß hier eine *beweisbare Widerlegung* Diracs zustande käme. Mit dieser Erwägung wollen wir es der Zukunft überlassen, ob die freilich recht „revolutionäre“ Theorie der Eiszeiten, die sich aus der Ausspinnung der Diracschen Hypothese ergeben hat, endgültige Bestätigung finden wird.

Eine andere Folgerung aus der Tellerschen Abhängigkeit der Leuchtkräfte der Sterne von  $x$  ist, daß danach die bisherigen (auf die Theorie der Sternentwicklung gestützten) Altersberechnungen von Sternen, soweit sie *hohes* Alter ergeben haben, *zu hohe*, also korrekturbedürftige Werte ergeben haben müssen.

Zum Schluß sei aber bemerkt, daß die modernen technischen Hilfsmittel der Forschung nun auch eine Möglichkeit eröffnen, die Diracsche Hypothese zur Försch in einer nur die Gegenwart betreffende Präzisionsmessung, ohne die umständliche Heranziehung historischer Entwicklungen von Jahrmillio-nen und Jahrmilliarden. Hierzu sind jedoch noch einige Vorbemerkungen erforderlich.

Bekanntlich hat Jeffreys in einer berühmten Theorie eine Erklärung zu geben versucht für einen Anteil von  $5,2''/(\text{Jahrhundert})^2$  in der astronomisch gemessenen „säkularen Beschleunigung“ des Mondes. Nach dieser Theorie wird laufend durch ozeanische Flutreibung (und zwar in der Behring-See, dem einzigen *großen* Schelfgebiet der Erde) Drehimpuls der Erde auf den Mond übertragen. Aber obwohl diese Theorie lange Zeit zu den am besten gesicherten (und schönsten) Theorien der Naturwissenschaft zu gehören schien, ist sie neuerdings Zweifeln ausgesetzt (Munk-MacDonald). Denn neue ozeanographische Messungen haben ergeben, daß in der Behring-See die aus älteren Messungen erschlossene Flutreibung gar nicht vorliegt. Deutungsversuche, die *anderweitige* zur Rettung der Theorie ausreichende Flutreibung nachweisen möchten, sind wohl ebenfalls als gescheitert anzusehen. Und empirisch ist der Wert von  $5,2''/(\text{Jahrhundert})^2$  gar nicht gesichert, da

die ihm zugrunde liegenden Messungen in der dreitausendjährigen Astronomie-Geschichte starken unerklärten Schwankungen unterlagen: Vorsichtiger Auswertung führt (nach Spencer Jones) nur zu dem Werte  $3'' \pm 9''$ , der also keinen nachweisbar von Null verschiedenen Effekt anzeigt. Ich neige zu dem Urteil, daß der behauptete Effekt gar nicht existiert, also eine Flutreibung, die zu einer astronomisch erkennbaren Drehimpulsübertragung führen würde, gar nicht vorhanden ist.

Wenn diese Beurteilung zutreffend ist, dann ergibt sich aus einem glänzenden Gedanken des Amerikaners Franken die Möglichkeit einer Präzisionsmessung von  $\kappa/\kappa$ . Franken hat vorgeschlagen, einen Orthogonal-Spiegel auf dem Monde aufzustellen (besser sollte man drei solche Spiegel aufstellen), so daß man von der Erde aus Laser-Signale dorthin schicken und reflektiert zurück bekommen könnte. Auf diese Weise würde es nach seiner Rechnung möglich sein, den Abstand eines solchen Reflexionsspiegels von einem Punkt der Erde zu messen mit einer Ungenauigkeit von nicht mehr als etwa 1 m.

Nun ist mathematisch leicht zu zeigen, daß der Bahnradius des Mondes in seinem Umlauf um die Erde bei Nichtvorhandensein störender Einflüsse von Flutreibung umgekehrt proportional mit  $\kappa$  zunehmen müßte. (Dies gilt, wie ausdrücklich betont sei, nicht nur approximativ, unter Vereinfachung des Systems Erde—Mond zu einem Zweikörperproblem, sondern auch bei exakter Betrachtung des Mehrkörperproblems Erde—Mond—Sonne und störende Planeten). Die Zunahme würde im Falle der Richtigkeit von (6) annähernd 30 cm im Jahre betragen. Sie könnte also in einem über ein Jahrzehnt ausgedehnten Beobachtungsvorgang wohl auf zwei bis drei Dezimalstellen genau ermittelt werden.