

## Über Kontinentverschiebungen.

VON OTTO AMPFERER, Wien.

Die Frage nach der Möglichkeit und dem wirklichen Vorhandensein von Kontinentverschiebungen ist getrennt zu behandeln, und auch jene der Polverschiebungen ist damit nicht notwendig verbunden. Die Hypothese von WEGENER hat nun hier eine bestimmte Verbindung hergestellt und damit tief in die ganze geologische Entwicklungsgeschichte eingegriffen, hier Zustimmung, dort Ablehnung findend.

Einer Hypothese, an welcher man nicht vorbeigehen, sondern die man zu seinen eigenen Arbeitsmitteln zählen will, kann man in sehr verschiedener Weise gegenüber stehen. Das Häufigste ist wohl auf der einen Seite eine Zusammentragung aller erreichbaren günstigen Momente, auf der anderen wiederum eine solche aller ungünstigen.

So wirkungsvoll diese beiden Methoden auch bei der Anwendung sind, so enthalten sie doch schon an und für sich durch ihre absolute Einseitigkeit große Fehlerquellen. Außerdem verkennen sie aber auch das Lebendige eines Gedankenbildes, dem man keinen Dienst erweist, ob man dasselbe nun auf einen vergoldeten Sockel zu heben oder aber in einem Sarge zu begraben versucht.

Ich glaube, es gibt hier nur einen Standpunkt, der dem Geistigen einer solchen Hypothese keine Gewalt antut, und das ist jener eines völligen Entgegenkommens, aber eines Entgegenkommens mit stetig wachsender Kritik und dem ehrlichen Willen zu jeder möglichen Verbesserung.

Der Gedanke einer Verschiebung der Kontinente ist gewiß nicht neu und hat schon dadurch seine Lebenskraft bewiesen. Er findet sich, wenn ich nur einige deutsche Autoren herausgreife, in verschiedenen Variationen schon bei KANT, bei HUMBOLDT, bei PESCHEL, bei LÖFFELHOLZ, WETTSTEIN, SIMROTH und vor allem bei KREICHGAUER, welcher in seinem Werke über die Äquatorfrage in der Geologie ausführlich darauf eingegangen ist und viele Konsequenzen einer solchen Annahme bis ins Einzelne verfolgt hat. WEGENER hat diesen Gedanken neu ergriffen und zu einer vollständigen Lehre ausgebaut, für welche er seit 1911 in zahlreichen Vorträgen und Aufsätzen mit großer Energie und Zähigkeit immer wieder eingetreten ist. Ich kann also wohl seine Ansichten als bekannt voraussetzen und sogleich zu einer Besprechung derselben übergehen.

Stellen wir uns die Erde als eine riesige und rasch auf einer komplizierten Bahn durch den Weltraum rotierende Kugel vor und bedenken wir dabei ihre Entwicklung von einer glühenden Gasmasse zu einer feuerflüssigen und endlich zu einer schwach umkrusteten Kugel, so werden wir den

Gedanken, daß es auf und in dieser Kugel kein gegeneinander starres System jemals gab, noch auch heute gibt, kaum als unwahrscheinlich von der Hand weisen. Bei dem unaufhörlichen Zerfallen und Umbilden und Neubilden aller Teilchen wäre eine solche Stabilität geradezu als ein mechanisches Wunder zu bezeichnen. Ich stehe daher nicht an, die Beweglichkeit der Teile und Teilchen gegeneinander in und auf der Erde für das Gewöhnliche und die Unbeweglichkeit für das Seltene zu halten. Das wäre etwa als allgemeine Begründung für eine kinetische Betrachtung der Erdoberfläche zu sagen.

WEGENER geht nun einerseits von der Ähnlichkeit der scheinbar auseinander gerissenen gegenüber liegenden Kontinentränder, andererseits von der merkwürdigen Tatsache aus, daß auf der Erdoberfläche 2 Niveauflächen herrschend sind, denen gegenüber alle anderen Abweichungen zurücktreten. Beide Argumente bestehen in Wirklichkeit und man hat keinen Gewinn, wenn man dieselben etwa lediglich als Zufälligkeiten betrachten wollte. Die Ähnlichkeit der gegenüber liegenden Kontinentränder besteht nur im großen und ganzen, doch nicht in allen Einzelheiten. Die Gesetzmäßigkeit der zwei vorherrschenden Niveauflächen, von denen die eine etwa 4700 m unter dem Meeresspiegel, die andere etwa 100 m darüber liegt, ist schon lange bekannt und durch die sog. hypsometrische Kurve von KRÜMMEL, PENCK, TRABERT, WEGENER veranschaulicht worden. Diese Kurve entspricht nicht einem wirklich vorhandenen Oberflächenquerschnitt, sondern einem ausgerechneten Durchschnittsverhältnis der vorhandenen Höhenunterschiede. Sie ist z. B. von KRÜMMEL wie Fig. 1 zeigt in horizontaler, von WEGENER in vertikaler Anlage aufgezeichnet worden. Ohne die Dimensionen dieser Kurve irgendwie zu verändern, kann man ihr auch den in Fig. 1 abgebildeten Verlauf geben, welcher dem natürlichen Relief der Erdoberfläche getreuer entspricht. Es stoßen nämlich die zwei großen Niveauflächen im allgemeinen nicht unmittelbar aneinander, sondern es sind die Zonen der großen Tiefen und jene der großen Höhen zwischen ihnen angeordnet.

Betrachten wir nun diese natürlich gruppierte hypsometrische Kurve, so spricht die Anordnung der großen Höhen und Tiefen und ihre Ausbildung in langen schmalen Zonen wohl für einen gegenseitigen Zusammenhang. Die großen Höhen sind aber Falt- und Schubgebilde von äußerster Komplikation, die großen Tiefen dagegen Einsenkungen von nicht näher bekannter Bauart. Das Auftreten von 2 so deutlich voneinander getrennten Hauptniveauflächen deutet nun WEGENER als den Ausdruck eines isostatischen Gleichgewichtes zwischen leichteren Kontinentschollen und einer schwereren

Erdmasse in und auf der die Kontinente schwimmen. In Anlehnung an EDUARD SUCESS wird die erste Masseart als *Sial*, die zweite als *Sima* bezeichnet. Zur Verdeutlichung seiner Vorstellung bedient sich WEGENER immer wieder des Bildes der im Meere schwimmenden Treibeisschollen. Ob dieses Bild zur Erklärung der beiden Niveau-

vollzieht oder ob nicht doch kompliziertere Verhältnisse darunter verborgen liegen.

Zunächst ist einmal zu bedenken, daß es sich hier neben einem *statischen* doch auch möglicherweise um ein *kinetisches* Gleichgewicht handeln könnte. Es könnte der Auftrieb der Kontinentmassen z. B. auch durch ein gasreicheres und aktiveres Magma verursacht werden, das einen stärkeren Gegendruck gegen die auflastende Erdhaut ausüben vermag. In diesem Sinne würden die Kontinente gleichsam etwas stärker aufgetriebene Stellen als die Ozeanböden bedeuten. Es kann sich aber auch, z. B. bei rein statischem Gleichgewicht, um das Zusammenspielen von mehr als zwei verschiedenen schweren Massenbereichen handeln. In diesem Falle könnte z. B. die oberste Erdhaut überall aus einer ziemlich ähnlichen, bunt zusammengeflickten Schichtenhülle bestehen, aber unter den Kontinenten eine Zone von etwas leichterem Magma liegen als unter den Meeresböden (Fig. 2). Auch die Umkehrung ist denkbar, daß unter den Meeresbecken noch eine schwerere Zone eingeschaltet ist.

Diese Verhältnisse würden die 2 Hauptniveau-

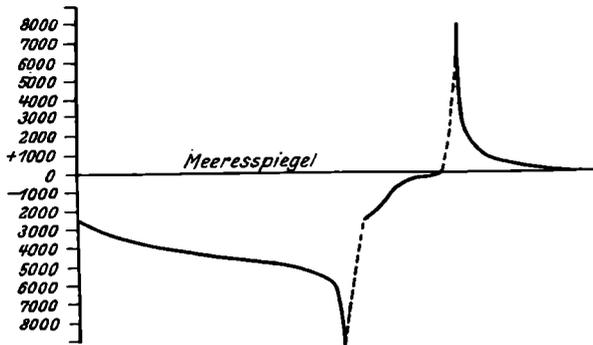
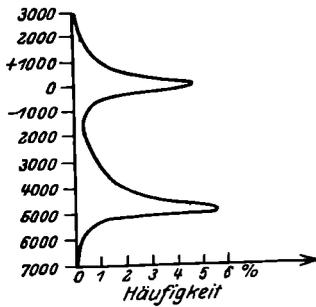
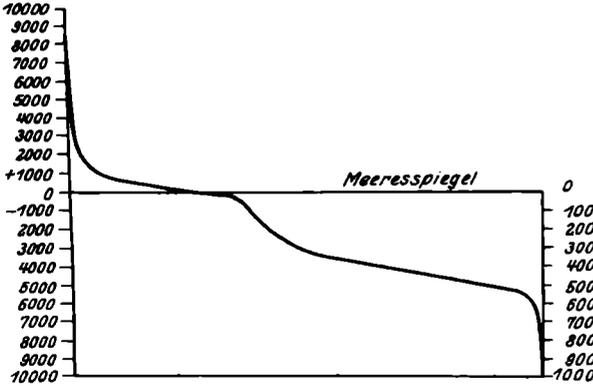


Fig. 1. Darstellungen der hypsometrischen Kurve der Erdoberfläche. Oben nach KRÜMMEL, in der Mitte nach WEGENER, unten in natürlicher Anordnung der Hauptelemente.

flächen unserer Erde genügt, erscheint mir zweifelhaft.

An dem Vorhandensein der beiden Flächen ist jedoch kein Zweifel möglich. Auch das Eingreifen eines Gleichgewichtes durch Senkung schwerer Teile und Hebung leichter scheint mir wohl begründet zu sein. Es ist aber eine andere Frage, ob sich hier wirklich ein so einfaches Gleichgewicht



Fig. 2. Beispiele von Isostasie zwischen je zwei oder je drei verschieden schweren Zonen.

flächen ebenso gut erklären und nicht zu der geologisch unwahrscheinlichen Annahme führen, daß am Boden der Meere schon unmittelbar die schwerere Erdmasse herausstreicht. WEGENER ist aber der Meinung, daß die Ozeanböden erst gleichsam durch das Hinwegziehen der leichteren darüber liegenden Hüllschichten bloßgelegt und so die Meeresräume erst geschaffen sein sollen.

Die Schaffung der Meeresräume ist ebenfalls wieder ein geologisches Problem von großer Tragweite. In Fig. 3 sieht man eine schematisierte Darstellung der hauptsächlichsten hier in Betracht kommenden geometrischen Möglichkeiten. Es könnte die Schaffung der Meeresräume zunächst durch reine Senkung vollzogen werden. Diese könnte einerseits als Niederbiegung ohne große Zerreißungen, andererseits aber auch als Einbruch mit entsprechenden Randspalten ausgebildet sein. Dann kommt die Möglichkeit in Betracht, daß durch äußere Kräfte die leichteren Deckschollen gleichsam zur Seite geschoben werden und die Meere die so entstehenden Hohlräume besetzen. Die Verschiebungsfläche würde hier etwa dem Niveau der Ozeanböden entsprechen.

Eine andere Möglichkeit ist dann ein Aus-

einanderschieben der leichteren Hüllschichten aber entlang einer tiefliegenden Verschiebzone. Ein solches Auseinanderschieben könnte sowohl durch äußere als auch durch innere Kräfte geschehen. Im letzteren Falle hätten wir es mit einer Unterströmung zu tun. Eine solche ist nur möglich, wenn an der Vorderseite der wandernden Schollen die entgegenstehenden Massen eingesaugt und an der Rückseite die aufreißenden Spalten von unten her mit Schmelzflüssen nachgefüllt werden. Es würden dann die Meeresböden die neugebildeten und mit offenbar schwereren Magmen verheilten Oberflächen, die Kontinente aber Reste der alten nicht eingeschmolzenen Kruste vorstellen. Die zwei ersten Erklärungen der Ozeanbecken durch Niederbiegungen oder Einbrüche setzen vertikale Bewegungen voraus. Die zwei anderen Erklärungen arbeiten vor allem mit horizontalen Bewegungen, ohne aber der vertikalen dabei entbehren zu können. Steht man auf dem Standpunkt der vertikalen Mechanik, so hat man noch die Auswahl, entweder die Kontinente durch hebende oder die Ozeane durch senkende Bewegungen entstehen zu lassen.

EDUARD SUESS hat in seinem Weltbild versucht, alle hierhergehörigen Erscheinungen nur mit senkenden Bewegungen zu erklären. Sehr viele Erscheinungen der Geologie und Morphologie lassen aber leichter die Deutung zu, daß sowohl hebende als auch senkende Bewegungen an der Bildung des Erdreliefs beteiligt sind. Mit vertikalen Bewegungen kann man natürlich die Ähnlichkeit von gegenüberliegenden Kontinenträndern nicht erklären. Für die Schaffung von 2 Hauptniveauflächen müßte man die Annahme machen, daß etwa die obere noch die Einstellung auf eine ältere, die untere aber jene auf eine jüngere neue Kugelgröße wäre. Die größere Ausdehnung der tieferen Niveaufläche wäre dann als das bereits erlangte Übergewicht der neuen kleineren Kugleinrichtung zu deuten. Diese Auffassung würde mit der Kontraktionstheorie Hand in Hand laufen.

Denkbar wäre aber auch die Umkehrung bei einer Vergrößerung der Erdkugel. Dann wären wieder die Kontinente die Neueinstellungen und die Ozeanböden die Reste eines alten Kugelniveaus. Die Überlegenheit der Verschiebungshypothese besteht dem gegenüber in der leichten Möglichkeit, Konturenähnlichkeiten, Verbiegungen, Drehungen, Zerreißen von Kontinenten und kleineren Schollen zu erklären.

Sie wird in ihrer Bedeutung durch manche Ergebnisse der Erdbebenforschung und durch den Fortschritt der tektonischen Erforschung der Faltengebirgszonen wesentlich unterstützt, welcher immer mehr auf großartige Horizontalverschiebungen hinweist, die weit über den Bereich der Gebirgszonen hinaus die zustimmende Mitbewegung und Mitwirkung großer Teile der Kontinente unbedingt erfordern. Damit sind jedoch die Schwierigkeiten, welche der Hypothese der Kontinentverschiebungen entgegenstehen, noch lange nicht

gelöst. Wenn man der WEGENERSchen Darstellung folgt, so sind die heute getrennten Kontinente unserer Erde noch im Carbon zu einem einzigen, riesigen Urkontinent vereinigt. Dieser Urkontinent soll seinerseits durch Zusammenschieben und Zusammenfallen einer noch weit älteren, gleichmäßigen Hülle unseres Planeten entstanden sein. Hier stehen wir vor einer großen Unverständlichkeit. In der älteren Zeit soll eine, wie mit Recht angenommen wird, ursprünglich gleichmäßige und gleichartige Hülle der Erde zu einer riesigen, ganz einseitigen Kontinentscholle zusammengeschoben worden sein, in der folgenden jüngeren Zeit, genauer vom Carbon ab, soll dann dieser Urkontinent wieder zerrissen und in immer mehr kleine Stücke aufgelöst und über die ganze Oberfläche wieder zerstreut werden. Denselben ungewissen äußeren Kräften wird hier im ersten Fall die Störung einer bereits erreichten Regelmäßigkeit bis zur völlig

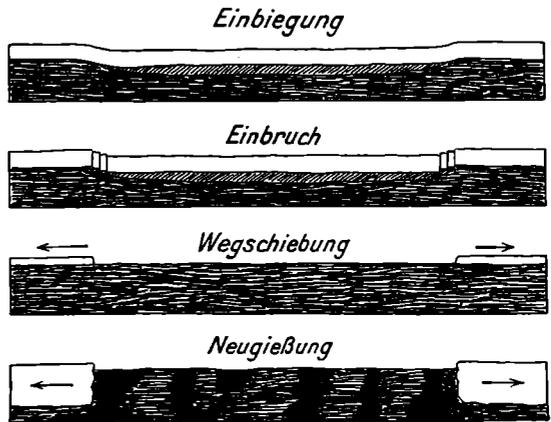


Fig. 3. Die wichtigsten geometrisch-geologischen Möglichkeiten der Raumschaffung für die Ozeane.

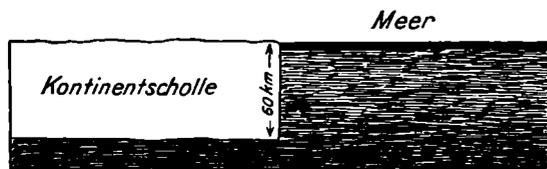
einseitigen Anhäufung der ganzen Hüllschichte zu einem Kontinent, im zweiten Fall gerade umgekehrt die Zerreißen und Zerstreung dieses Kontinentes zugeschrieben.

Ich finde in WEGENERS Hypothese keine Möglichkeit zu einem Verständnis für diese völlig entgegengerichteten Umgestaltungen, welche zuerst zu einer Sammlung der ganzen leichteren Hülle an einer Stelle und dann wieder zu einer Zerstreung derselben führen sollen. Als Ausgangsstelle für eine Beurteilung dieser Frage kann man nach der KANT-LAPLACESchen Theorie doch wohl nur eine ziemlich regelmäßige Verteilung der leichteren Hüllgesteine über die ganze Kugelgröße hin annehmen. Eine solche gleichmäßige Anordnung der leichteren Massen über den schwereren entspricht nicht nur der sehr vollkommenen Kugelgestalt der Erde, sondern auch der Ableitung derselben von einem glühenden, gasförmigen, später feuerflüssigen Weltkörper. In diesen Zuständen hoher Beweglichkeit ist die Herausbildung einer ziemlich regelmäßigen Hüllschicht das einzig

wahrscheinliche Ergebnis. Es ist also nur die Frage, wie kann aus einer ursprünglich offenbar ziemlich regelmäßigen und gleichartigen Umhüllung das heutige unregelmäßige Erdrelief abgeleitet werden. Durch die Bewegung der Erde kann eine ihr bereits angepaßte regelmäßige Lagerung nicht ohne weiteres zu einer unregelmäßigen verändert werden.

Die ältesten Ablagerungen, welche wir kennen, sind überall Gneise und damit eng verschweißte Granite. Die Gneise zeigen allenthalben intensive Faltung, jedoch nicht so sehr die Anordnung zu weithin streichenden Faltenzonen, sondern eine vielfach wechselnde Streichrichtung wie sie etwa einem mehrfachen Hin- und Herschieben entspricht.

Für eine Zusammenschiebung dieser Gesteins-hülle von der ganzen Kugelschale auf etwa  $\frac{1}{3}$  dieser Fläche sind gewiß keine ausreichenden Störungsformen vorhanden, Reichliches Einfließen von Magmen und ausgedehnte Einschmelzungen sind weiter für diese alten Gesteinszonen bezeichnend



Wechselagerung u. Verzahnung d. Schichten in d. Erdkruste

Fig. 4. Oben: Schematische Darstellung des Kontinentrandes (Sial) gegen Sima und Ozean nach WEGENER. Unten: Schematischer Querschnitt durch ein Stück von schwereren Magmen durchbrochener Erdhülle.

und zeigen an, daß das erstarrte und schon umgelagerte Material hin und hin neuerlich durchbrochen und wieder verkittet wurde. Für eine Scheidung von großen, jeweils leichteren und schwereren Massenbereichen findet sich in den geologischen Erfahrungen hier kaum ein Anhalt. Je genauer die einzelnen Erdteile durchforscht werden, desto bunter stellt sich ihre Zusammensetzung heraus. Dabei grenzen die verschiedenen Gesteinskörper nicht mit scharfen vertikalen Grenzflächen gegen einander ab, sondern sie liegen wie Zwiebelschalen übereinander und sind hundertfach seitlich miteinander verzahnt (Fig. 4).

Was wir also von der wirklichen Struktur der Erdrinde bisher kennen gelernt haben, spricht keineswegs für eine schroffe Abgrenzung von ganz verschiedenen Massen und auch die größten bekannten Verwerfungen trennen keine so verschiedenen Gesteinsbereiche. Zudem sind ihre Sprunghöhen viel zu unbedeutend. Fassen wir diese Erfahrungen zusammen, so können wir sagen, daß uns die geologischen Befunde keinen Anhalt geben, wie

aus einer ursprünglich gleichmäßigen Massenordnung jene Ungleichmäßigkeit hervorgehen soll, welche die Hypothese von WEGENER erfordert. Die zackigen und scharfeckigen Umrisse der Kontinente stimmen nicht zu der geologischen Innenstruktur der Kontinente. Sie legen gewiß den Gedanken an eine Zerreißen nahe.

Schiebt man die Kontinente wieder zusammen, so erhält man eine große mehr rundlich abgegrenzte Masse. Es ist klar, daß dies noch eine weit schroffere Einseitigkeit bedeutet als die heutige viel aufgelöstere und besser verteilte Lagerung der Kontinentmassen. Man kommt also durch Zusammenschieben unbedingt nur zu einer noch einseitigeren Massenverteilung. Andererseits ist es, von einer gleichmäßigen Urhülle ausgehend, nicht möglich, zu einer derartigen Einseitigkeit zu gelangen.

Hier klafft ein Riß durch die ganze Ableitung. Ich bin nun zu der Vorstellung gekommen, daß man hier ohne das Eingreifen eines neuen Ereignisses diese beiden entgegengesetzten Entwicklungsreihen kaum verbinden kann. Als ein solches gewaltsames Ereignis käme nach meiner Einsicht noch am ehesten das Abreißen des Mondes von der Erde in Betracht.

Nach der Theorie von DARWIN und POINCARÉ entsteht bei genügend starker Rotation aus einem Kugelkörper allmählich ein birnförmiger, dann ein sanduhrförmiger Körper bis es endlich zum Abreißen der Mondmasse kommt. Es gilt nun allerdings diese Ableitung nur für einen homogenen Körper und die Anwendung auf die Erde ist also unsicher.

Bekanntlich hat schon EDUARD SUESS sich eingehend mit dem Gedanken der Wirkung einer Mondablösung von der Erde beschäftigt. Mit Hilfe dieser Annahme wäre es nun möglich, eine von Anfang her gleichmäßige Bildung und Verteilung der Hüllschichte mit der heutigen unregelmäßigen Verteilung in Verbindung zu bringen. Durch die Abschnürung der Mondmasse muß in erster Linie ein großer Teil der früheren leichteren Hüllschichte samt tieferen Massen von der Erde abgesaugt und entfernt worden sein. Wenn man nun annimmt, daß z. B. die Kerne der Kontinentmassen noch Reste jener alten, gleichmäßigen und leichteren Hüllschichte vorstellen, so ist erstens ihre geringe Ausdehnung und zweitens der schroffe Gegensatz zu den dadurch entblößten tieferen und schwereren Massen wohl erklärt. Es wird aber weiterhin auch das Auseinanderweichen der alten Kontinentscholle zu der heutigen Schollenverteilung als Verminderung der einseitigen Verteilung verständlicher. Auf diese Weise bietet die Annahme einer Ablösung des Mondes die Möglichkeit, auf der Erdoberfläche nebeneinander scharf begrenzte leichtere Schollen und schwerere Massen zu erhalten.

Wir haben uns nun noch genauer mit der Mechanik der Schollenverschiebungen zu beschäftigen. Wenn ein leichterer Körper in einem schwereren Medium schwimmt, so verhalten sich die Höhen

von 2 Säulen dieser Körper von gleicher Grundfläche, welche im Gleichgewicht stehen, umgekehrt wie ihre spezifischen Gewichte. Wir kennen nun von dieser Gleichung nur den Betrag der Herausragung der leichteren Schollen und ungefähr das spezifische Gewicht der Gesteine dieser Schollen. Daher können wir die Dicke der schwimmenden Kontinentscholle nicht direkt bestimmen, sondern nur im Verhältnis von willkürlich eingesetzten Zahlen für die spezifischen Gewichte. Solche Berechnungen sind schon vielfach gemacht worden. Ist der Unterschied zwischen dem spezifischen Gewicht von Sial und Sima gering, so liegt die Ausgleichsfläche der Kontinentschollen sehr tief, ist er dagegen groß, so rückt diese Fläche bedeutend näher.

So ergibt sich nach WEGENER für die Dicke der Kontinentschollen z. B. bei einem Verhältnis der spezifischen Gewichte von  $2 \cdot 6 : 3$  ein Betrag von 53 km, bei einem Verhältnis von  $2 \cdot 9 : 3$  aber schon ein solcher von 213 km. Die Lage der Verschiebungsfläche muß aber im wesentlichen mit der unteren Grenze der Kontinentschollen zusammenfallen, da ja sonst bei einer Verschiebung die oberen Teile der leichteren Schollen von ihrer Basis getrennt würden. Sie liegt also selbst bei großem Gewichtsunterschied noch sehr tief unter den Ozeanböden. Eine Tiefenlage dieser Fläche von mindestens 50–60 km wird man wohl annehmen müssen. Es ist daher ganz unmöglich, etwa die Böden der Ozeane einfach als die Verschiebungsflächen der Kontinente anzusehen.

Wir wollen uns nun klar machen, was dies für den Vorgang einer Verschiebung großer Kontinentmassen zu bedeuten hat. Das bekannteste Beispiel für Kontinentverschiebungen ist die Loslösung und Abwanderung von *Amerika* von *Europa-Afrika*. Die Entfernung schwankt heute von unter 3000 bis über 6000 km. Nehmen wir der Einfachheit wegen eine Durchschnittsentfernung von ca. 4000 km an, so besagt dies, daß vor der Front von *Amerika* im Bereiche des *pazifischen Ozeans* eine Masse von 4000 km Breite, etwa 15 000 km Länge und etwa 60 km Tiefe entfernt worden sein muß, um eben *Amerika* Platz zu machen. Als Ersatz dafür muß eine Masse von ähnlicher Größenordnung im Bereiche des *atlantischen Ozeans* neu hinzugefügt werden sein. Diese rein geometrische Forderung ist nicht zu umgehen und sie hat außerdem sicherlich nur den Charakter einer Mindestforderung.

An diesen Beträgen ändert sich nichts, wenn dieselben auch erst in langen Zeiten zu dieser Höhe anwachsen.

Wie soll nun dieser gewaltige Massenaustausch zur Ausführung gelangen. Ein seitlicher Austausch ist bei der ungeheuren Länge von *Amerika* und dem nahen Zusammenhang mit *Asien* und *Antarktis* völlig ausgeschlossen. So verbleibt einzig die Möglichkeit, daß der große Massenaustausch unter *Amerika* hindurch im Innern der Erde sich abspielt. Das ist natürlich nicht so zu verstehen, als

ob gerade dieselben Massen im *Pazifik* verschwinden, die im *Atlantik* wieder auftauchen. Es genügt vollkommen, wenn beiderseits nur Massen von ähnlicher Größenordnung gesenkt und gehoben werden (Fig. 5). So ist eine derartige Verschiebung von *Amerika* ohne Störung der Kugelform mechanisch möglich und verständlich. Sie setzt also einen Massenaustausch großen Stiles in der Tiefe voraus. Nun kann sich dieser Massenaustausch grundsätzlich auf zwei ganz verschiedene Weisen vollziehen. Er kann zunächst, so wie WEGENER meint, durch einen äußeren Antrieb der leichteren Schollen entstehen (Fig. 6). In diesem Falle entspricht z. B.

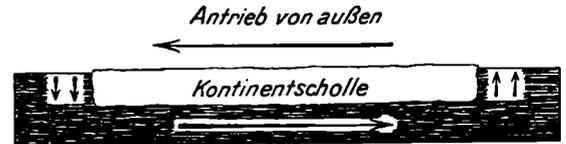


Fig. 5. Schema einer Kontinentverschiebung durch äußere Kräfte. Der dazu nötige Massenaustausch besteht vor der Stirne des wandernden Kontinents in Wegführung, an der Rückseite in Zuführung von unterirdischen Massen. Der Ausgleich erfolgt durch Unterströmung.

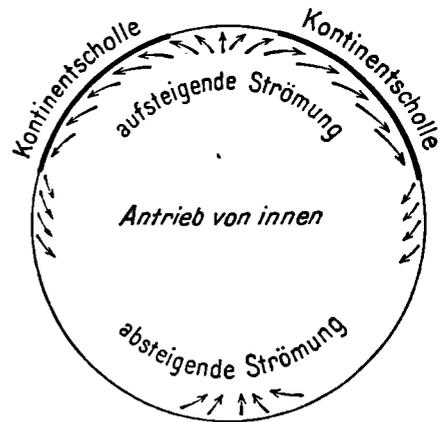


Fig. 6. Schema von Kontinentverschiebungen durch auf- und absteigende Strömungen im Erdinnern.

der Westbewegung von *Amerika* in der Tiefe ein zugeordneter nach Osten fließender Ausgleichstrom. Es ist aber auch möglich, daß umgekehrt die Bewegungen der leichteren Schollen ganz von Unterströmungen verursacht und getragen werden. In diesem Falle würde z. B. einer aufsteigenden Strömung unterhalb der *Kontinentmassen* eine absteigende unterhalb des *pazifischen Ozeans* zugeordnet sein (Fig. 6). Diese aufsteigende Strömung wäre zugleich die Ursache für die immer weiter gehende Zerstückung der großen Kontinentmasse in kleinere Stücke und für die Auseinanderzerrung dieser Trümmer.

Es ist klar, daß sich diese beiden, wesentlich verschiedenen Erklärungen in ihren Wirkungen

auf die Trift der leichteren Schollen sehr unterscheiden müssen. Im ersten Fall haben wir nur eine bestimmte Triftrichtung zu erwarten, im zweiten ist es dagegen wahrscheinlicher, daß die randlichen Schollen nach allen Seiten von der Mittelscholle solange abtriften, bis das neue Gleichgewicht erreicht ist.

Nachdem wir die Großordnung des Massenaustausches erkannt haben, welche bei der Annahme von Kontinentverschiebungen nicht zu umgehen ist, bleibt mir noch übrig, Einiges über die Detailausführung einer solchen Verschiebung zu bemerken. Wenn eine leichtere Scholle, welche etwa zu  $\frac{11}{12}$  ihrer Dicke in einer schwereren zähflüssigen Masse steckt, nun in dieser verschoben wird, so bildet sich an der Vorderseite der wandernden Scholle, besonders wenn dieselbe breit ist, eine Aufwulstung und an der Rückseite eine Einmündung in der zähflüssigen Grundlage aus (Fig. 7). Ein entsprechender Versuch ist z. B. mit Honig oder Leim oder Wachs unschwer auszuführen. Es darf auch nicht vergessen werden, daß die sog.



Fig. 7. Schema der Verschiebung einer Kontinentscholle durch äußere Kräfte in dem schwereren zähflüssigen Sima. Vor der Stirne entsteht eine Aufwulstung, im Rücken eine Einsenkung.

leichteren Schollen unserer Erdoberfläche keineswegs etwa von außen her in die schwerere Masse hineingetaucht worden sind, sondern vielmehr zugleich mit der letzteren aus derselben Urmasse sich ausgeschieden haben. Die Wirkung einer Verschiebung ändert sich auch nicht wesentlich, wenn dieselbe langsam vor sich geht. Es werden nur die Dimensionen der Aufwulstung und Einmündung entsprechend verkleinert. Bei den Kontinentschollen erkennen wir aber eine andere Anordnung.

Amerika zeigt z. B. an seiner riesigen Stirnfront ein Faltengebirge und zugleich einen gewaltigen Tiefseeegraben, an der Rückseite einen Abrißrand und ein normales Meeresbecken. Wir finden also hier vor der wandernden Scholle statt der Aufwulstung des Meeresbodens im Gegenteil eine Senkungszone von außerordentlich großer Erstreckung.

Man kann aber auch nicht behaupten, daß etwa die Auffaltung der Anden die Rolle einer solchen Stauungszone übernommen habe. Eine Kontinentscholle ist sowohl wegen ihrer etwas größeren Starrheit, als vor allem wegen ihrer Aufragung bei einer seitlichen Verschiebung gegen Faltung weit besser geschützt als die tieferliegende und zugleich mehr zähflüssige Simamasse der Meeresböden.

Es müßte sich daher unter diesen Voraussetzungen die Stauungsfaltung bei der Verschiebung nicht auf dem hohen Kontinentrand, sondern vor allem am tiefen Meeresboden vollziehen.

Bei der steilen Abgrenzung der Kontinentschollen im Sinne WEGENERS ist es wohl unmöglich, daß die Faltung den Kontinent statt des Meeresbodens ergreift. Der hochliegende Kontinentrand ist ja geradezu vorzüglich dagegen geschützt, wogegen der tiefe weichere Meeresboden umgekehrt für eine Faltung sehr günstig liegt. Außerdem paßt die Faltungsart gar nicht zu dem ganzen Vorgang. Die Faltung der Kettengebirge ist eine sehr intensive Bewegung von verhältnismäßig dünnen Schichtdecken verbunden mit magmatischen Eingriffen. Hier würde es sich aber um die Stauung einer sehr mächtigen, mindestens 50—60 km dicken Scholle handeln (Fig. 8). Eine so dicke Platte würde aber bei einheitlicher Faltung ganz andere Strukturen ergeben als wie sie die irdischen Falten-

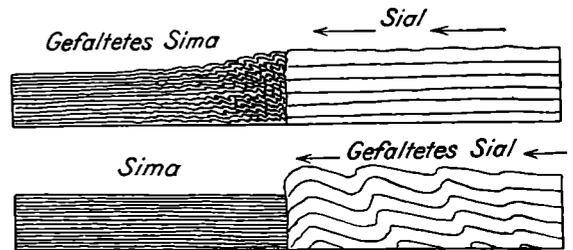


Fig. 8. Schematische Darstellung der Lage einer durch den Vorschub der Kontinentscholle gebildeten Faltungszone. Oben: richtige Anordnung. Unten: unrichtige Anordnung.

gebirge besitzen. Es ist also gar nicht wahrscheinlich, daß die Anden von Amerika ein Stauungswulst sind, welcher bei der Verschiebung an der Stirnfront entstanden sein soll. Diese Auffassung wäre richtig, wenn etwa die Anden aus dem hochgestauten Sima des aufgefalteten pazifischen Meeresbodens beständen, was aber nicht der Fall ist.

Man kann nun einwenden, daß bei einer langsamen Westbewegung von Amerika die Erosion imstande sei, die Kontinentscholle mit einem Saum von Abtragungsschutt zu umgürten. Infolgedessen würde das am Stirnrand aufgestaute Material doch nur wieder aus umgelagertem Sial bestehen. Es hätte also der Kontinentrand bei seiner Wanderung fortwährend nur seinen eigenen Abtragungsschutt vor sich her zu schieben und aufzufalten.

Auf diese Weise würde eine recht merkwürdige Faltenzone entstehen, indem vorne immer jüngere neugebildete Schichten angegliedert würden. Das Endergebnis wäre also eine Faltenzone, welche auf der einen Seite aus den ältesten, auf der anderen Seite aus den jüngsten Schichten aufgebaut ist, welche vom Anfang bis zum Ende der Kontinentverschiebung hier abgelagert wurden. Dazwischen wären die anderen Schichten genau dem Alter ihrer

Bildung und Faltung nach eingeordnet. Wir hätten also in der Verschiebungsrichtung hier sowohl immer jüngere Schichten als auch immer jüngere Faltungen zu erwarten. Eine Faltenzone von dieser Bauart gibt es nicht auf der Erde.

Wenn man an der Kontinentverschiebung festhalten will, so kommt man zu dem Schluß, daß an der Stirne der wandernden Kontinente keine solchen Auffaltungen des vorliegenden Meeresbodens stattfinden. Damit wird man aber wieder zu der Vorstellung geführt, daß hier die Wegschaffung des Materials an dessen Stelle eben der Kontinent einrückt, nur durch unterirdischen Massenaustausch und zwar vor der Stirnfront durch Einsaugung und hinter der Rückfront durch zugeordnete Aufquellung geschehen kann. Der Massenaustausch hätte, um noch einmal auf das Beispiel von *Amerika* zurückzukommen, im Bereich

des *Pazifik* eine absteigende, einsaugende, dagegen in jenem des *Atlantik* eine aufsteigende, auseinanderchiebende Richtung. Der große Tiefsee-graben vor der Stirnfront aber würde eine Zone von gesteigerten Einsaugungen bedeuten. Eine solche Mechanik des unterirdischen Massenaustausches ist aber wahrscheinlich nicht als Folge einer von äußeren Kräften angetriebenen Kontinenttrift, sondern vielmehr als ihre tiefere Veranlassung aufzufassen. In diesem Falle würde also der unterirdische Massenaustausch die leichteren Schollen in Bewegung versetzen und nicht umgekehrt die Verschiebung der Schollen erst den Massenaustausch hervorrufen. WEGENER versucht die Erklärung der Kontinentverschiebungen nur mit Hilfe von äußeren Kräften. Mir scheint zumindest die Mitwirkung von Strömungen des heißen Erdinnern unumgänglich zu sein.

---