© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien
55. Band 1962

S. 209 – 232, mit 2 Textfiguren und 1 Tabelle

Geotektonische Stockwerke

(Eine relativistische Hypothese der Geotektonik)

Mit 2 Textfiguren und 1 Tabelle

Von **R. W. van Bemmelen (Utrecht)**

(Vortrag, gehalten im Institut für Geologie der Technischen Hochschule zu München, am 25. Jänner 1963)

INHALT:

Seite

Zusammenfassung, Summary 209
A) Mobilismus und Fixismus 210
B) Die paläomagnetische Prüfungsmethode 214
C) Die Ostpazifische Schwelle 220
D) Versuch einer Einteilung der geotektonischen Stockwerke der Erde . 229
E) Schrifttum 230

Zusammenfassung

Die Ergebnisse des Paläomagnetismus' und die neueren ozeanographischen Untersuchungen führen zum Schluß, daß Wanderungen von Krustenteilen auftreten. Tabelle I (S. 225) ist ein Versuch einer Einteilung der geotektonischen Stockwerke der Erde. Sie führt zu einer geotektonischen Arbeitshypothese, welche die geotektonischen Prozesse weder fixistisch noch mobilistisch, sondern „relativistisch" auffaßt. Es hängt vom gewählten Rahmen der Betrachtungen ab, ob die Massenverlagerungen innerhalb der Grenzen des Blickfeldes bleiben oder darüber hinwegwandern.

Bei der alpinotypen Gravitationstektonik kann man zwei Typen der Seitwärts-Verlagerung unterscheiden: (1) aktive Gleitbewegungen infolge eigener Energie der Lage, und (2) passive Schleppungsbewegungen, wenn der rheomorphe Untergrund sich schneller vorwärts bewegt (durch seitwärts Ausquetschen der Asthenolithe) als der darüber gelegene Gesteinskomplex.

Bei Driftbewegungen kann man wahrscheinlich auch diese zwei Typen unterscheiden: (1) aktive Gleitdrift von Schollen der Stockwerke I + II a

*) Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. R. W. van Bemmelen, Geologisches Institut der Universität Utrecht, Oudegracht 320, Niederlände.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

über die schmierende Asthenosphäre (II b), und (2) passive Schleppungsdrift, wenn Kontinente zufolge von Strömungen in tieferen Mantelbereichen (II d) seitwärts verlagert werden.

Summary

The results of paleomagnetic and oceanographic researches point to important drift-movements of crustal parts.

Table I (on p 225) is an attempt to distinguish the geotectonic levels of the earth. This table leads to a concept of the geotectonic processes which is neither fixistic nor mobilistic, but which has a „relativistic" character. It depends on the chosen frame-work of the observations, whether the shifting masses stay inside the limits of the picture, or they move out of it.

In alpinotype gravity-tectonics two types of sideward shift can be distinguished: (1) active gliding movements of masses due to their own potential energy, and (2) passive drag movements due the fact that the rheomorphic base moves faster sidewards that the overlying basement complex (sidewards squeezing out of asthenoliths).

In drift movements of crustal parts probably also these two types are to be distinguished: (1) active drift due to gliding of crustal elements (levels I+II a) over the lubricating asthenosphere II b, and (2) passive drift of continental units (from II c upward), which are dragged by currents in the deeper mantle (II d).

A) Mobilismus und Fixismus

Die Vorstellungen bezüglich Erdkrustenbewegungen werden oft in zwei Gruppen eingeteilt:

a) Der Mobilismus, wobei angenommen wird, daß große laterale (tangentiale) Verschiebungen von Krustenteilen auftreten, und b) der Fixismus, wobei man annimmt, daß die relative Lage der Kontinente während der jüngeren Erdgeschichte mehr oder weniger fixiert war, aber daß Form und Ausmaß der Kontinente sich änderten durch Wachstum (Landbildung) und Verfall (Ozeanbildung).

Zu der ersten Gruppe gehören die Auffassungen von TAYLOR (1910) und WEGENER (1912), und alle damit verwandten Theorien der Kontinentverschiebungen.

Die zweite Gruppe umfaßt die moderne Variante der klassischen Kontraktionstheorie (KOBER, STILLE, UMBGROVE, LANDES), oder der Expansionshypothese (EGYED, CAREY, HEEZEN). Auch die Auffassungen physikalisch-chemischer Transformation ausgedehnter Krustenteile als Grundprinzip

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

der geologischen Entwicklung zu betrachten, können zum Fixismus gerechnet werden. BELOUSSOV ist der Meinung, daß die ozeanische Kruste durch „Basifikation" der kontinentalen Kruste entstehen kann (BELOUSSOV, 1962). KENNEDY (1959) sieht in den Phasenübergängen der Moho-Diskontinuität die Ursache der Orogenese und Epeirogenese. Ich selbst war auch fixistisch in meinen Auffassungen, strebe aber seit einigen Jahren nach einer Synthese zwischen Fixismus und Mobilismus (1958, 1962).

Solche Klassifikationen haben nämlich den Nachteil, daß sie scharfe Gegensätze formulieren, die logisch kaum vereint werden können. Das mag schon der Fall sein bei den extremen Standpunkten. Aber bei einer weiteren Vertiefung unserer Auffassungen im Gespräch, das wir Geologen mit der Erde immer wieder führen, stellt sich heraus, daß alte Gegensätze in Synthesen gelöst werden können, dafür aber neue Probleme hervortreten.

Es gibt sehr viele Beobachtungen, die ein Auf und Ab der Erdoberfläche beweisen, z. B. die skandinavische Aufwölbung und das Absinken des umgebenden Gebietes; das Aufsteigen alpinotyper Gebirge und das Absinken ihrer Vortiefen; die Beulung der ostpazifischen Schwelle, das Emporsteigen des Koloradoplateaus und der Tibethochebene, usw. Diese Vertikalbewegungen können alle stattfinden ohne seitliche Verlagerung der bezüglichen Krustenteile. Auch Faltungserscheinungen und Überschiebungen können ganz oder teilweise nur die Folgen solcher differentieller Vertikalbewegungen sein, wie ich das für Indonesien und die Alpen zu deuten versucht habe.

Aber es ist auch möglich, daß differentielle Vertikalbewegungen, sowie Faltungen und Überschiebungen ganz oder zum Teil die Folge seitlicher Verlagerungen von ausgedehnten Teilen der Erdkruste sind. Es gibt ja eine Anzahl großer Verschiebungen, wie der San-Andreas-Bruch in Kalifornien und der Alpine-Bruch in Neu-Seeland (KINGMA, 1959), wo eine relative, waagerechte Verlagerung der Krustenteile über recht große Gebiete hinweg, nachgewiesen worden ist. Diese Verlagerungen von Krustenteilen entlang (Mega-) Suturen widersprechen einer allzu engen oder extremen fixistischen Auffassung der geotektonischen Prozesse.

Die ganze Problematik der strukturellen Evolution der Erdkruste ist derart kompliziert, daß wir sie nur mit Hilfe vieler Arbeitshypothesen angreifen können, jeweils von anderen Annahmen ausgehend. Dann können die Richtigkeit und die Grenzen der Anwendbarkeit jeweils mit Hilfe der sogenannten P r o g n o s e - D i a g n o s e - M e t h o d e verifiziert und abgetastet werden (VAN BEMMELEN, 1960 b).

Die allgemeine naturwissenschaftliche Arbeitsmethode kann man, wie folgt, beschreiben. Die wechselseitigen Beziehungen und Korrelationen, die man in den vorläufig geordneten Beobachtungen wahrzunehmen ver-

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

meint, sind Anlaß zum Entwurf einer Arbeitshypothese. Das ist eine geistige Kreation, welche sich auf die intuitive wissenschaftliche Phantasie des Untersuchers stützt. Es ist aber nicht von vornherein sicher, daß dieser induktive Entwurf eines Beziehungssystems auch in der Wirklichkeit der Umwelt zutrifft; mit anderen Worten, es ist die Frage, ob er funktionell richtig ist.

Die Deduktionen der Arbeitshypothese liefern aber bestimmte Erwartungen (Prognosen), die in der Umwelt durch additionelle Beobachtungen (Diagnosen) kontrolliert werden können.

Wenn Prognose und Diagnose innerhalb der Grenzen der Beobachtungs- und Meßfehler miteinander übereinstimmen, dann ist das Vertrauen in die Arbeitshypothese gestärkt. Wenn aber die diagnostischen Beobachtungen nicht die Erwartungen erfüllen, dann soll man eine andere aufstellen, nachdem man die Tatsachen aufs Neue geordnet hat und von andern Prämissen ausgegangen ist. Und dann kann man wieder die Prognose-Diagnose Prüfung anwenden.

Es gibt kein universelles Rezept für die Fortschritte in der Naturwissenschaft. Es ist ein tastendes Vorwärtsgehen ins Niemandsland, „Terra Incognita", wobei man sich immer wieder mit Hilfe der Prognose-Diagnose Methode vorarbeiten muß.

Wenden wir uns jetzt wieder dem Problem der Erdkrustenentwicklung zu. Verläuft sie fixistisch oder mobilistisch, oder sogar nach einer Synthese beider Prinzipien (wie von mir im Jahre 1958 vorgeschlagen wurde)?

Die Entwicklung alpinotyper Gebirgssysteme in mobilen Geosynklinalgebieten (mit Verlagerung der Hebungsimpulse und begleitenden Deckenüberschiebungen gegen das Vorland) läßt sich fixistisch deuten (VAN BEMMELEN, 1960 a, 1961 b). Aber dieser Prozeß kann als ganzer superponiert sein auf Verlagerungen der Kontinentschollen in waagrechten Richtungen, wobei die geosynklinalen Mobilzonen, große Seitenverschiebungen und andere (tiefe) Mantelbrüche als Begrenzungen des Schollenmosaiks funktionieren.

Es wäre möglich, daß die fixistischen Prinzipien für bestimmte Stockwerke des Silikatmantels der Erde gelten, während in anderen Stockwerken eine größere Mobilität herrscht. Wir haben die Stockwerktektonik schon erkannt für die Tektonosphäre im engeren Sinne, bis etwa 100 km Tiefe, wo die verschiedenen mechanischen Eigenschaften der Gesteine (Sedimenthaut, Grundgebirge, Zone der Anatexis und der Asthenolithbildung) zu ganz andersartigen Deformationen führen. Aber sollten wir nicht zu einer klaren Erkenntnis kommen, daß auch für die Erde als Ganzes eine „Stockwerktektonik", d. h. Bewegungen in verschiedenen Tiefenbereichen, angenommen werden müßte? Bei dem (geo)tektonischen

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Bewegungsspiel handelt es sich nicht nur um größere Mobilität in der Migmazone mit Astehnolithen, sondern auch im Gutenbergschen Kanal (das ist die „Astenosphäre"), in den tieferen Teilen des Mantels, und im äußeren Kern (siehe Tabelle I auf S. 225 und Fig. 2 auf S. 228). Jetzt mehr als je brauchen wir eine Generalsynthese der alten und neuen Erkenntnisse der Geologie und Geophysik. Es ist dabei wahrscheinlich viel umzulernen.

Das Bild der geotektonischen Evolution, das wir als Gedankenexperiment entwerfen, darf aber nicht eine Privatphantasie des Entwerfers werden. Es soll immer an den kritischen Stellen mittels der Prognose-Diagnose-Methode geprüft werden. Durch fortgesetzte, additionelle Beobachtungen, welche immer wieder die Erwartungen bestätigen, erreicht das theoretische Bild schließlich den Status der naturwissenschaftlichen Objektivität. Die tiefer gelegenen geotektonischen Stockwerke sollen aber den Geologen nicht ein „Hypothesenasyl" werden. Auch wenn mehr als zuvor bei unseren Synthesen mit Manteleinflüssen aus mobilen Niveaus in größeren Tiefen gerechnet werden muß, so müssen unsere Auffassungen stets kontrolliert und geprüft werden durch Beobachtungen geologischer, geochemischer, geophysikalischer oder noch anderer Art.

So standen bisher den Geotektonikern nur wenige seismische und gravimetrische Daten zur Verfügung. Aber in der letzten Zeit sind neben viel vollständigeren seismischen und gravimetrischen Daten auch größere Erkenntnisse auf anderen Gebieten der Schwesterwissenschaften über das physisch-chemische Verhalten von Gesteinen unter hohem Druck und hoher Temperatur (Polymorphie, Phasenübergänge), die Wärmeströmung, die paläomagnetischen Eigenschaften der Gesteine usw. hinzugekommen.

Die Phasenübergänge sind begleitet von großen Volumen- und Dichteänderungen, wodurch Spannungen zur Entfaltung kommen, welche die Fließgrenze der Gesteine überschreiten können. Auch ist es die Frage, ob die seismische Moho-Diskontinuität eine chemische Grenze ist (wie Bullard, Griggs, Vening, Meinesz u. a. glauben), oder ob es ein Übergang in Hochdruckphasen darstellt (wie Holmes, Lovering, G. C. Kennedy u. a. meinen).

Die Möglichkeiten der Phasenübergänge und geochemischen Transportationen an der Basis der Kruste, möchte ich hier nicht weiter verfolgen. Nur eine Bemerkung anläßlich einer neuen Arbeit von John I. Ewing, J. Lamar Worzel und Maurice Ewing (1962) über den Golf von Mexiko.

Auf Grund ihrer neuen ozeanographischen Untersuchungen der Sigsbee Knolls im abyssalen Teile dieses Golfs, hat es sich herausgestellt, daß

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

dort diapire Salzstrukturen auftreten. Das Salz kommt wahrscheinlich aus den jurassischen Louann Beds, welche auch die Salzdome in den angrenzenden Gebieten, wie Texas und Louisana, lieferten.

Da die Kruste unterhalb dieses abyssalen Teiles des Golfes eine typisch ozeanische Struktur hat, meinen die Autoren, daß es ziemlich „sicher" sei, daß dieses Gebiet nie Land- oder Flachsee gewesen ist. Sie kommen deshalb zur Ansicht, daß diese Salzablagerungen, die jetzt 8 km unter der Meeresoberfläche liegen, primär in 5 bis 6 km Tiefe abgelagert worden sind. Diese Auffassung scheint jedoch, geologisch-sedimentologisch betrachtet, sehr unwahrscheinlich zu sein. Es kommt mir vor, daß in diesem Falle eher die geophysikalische Premisse, daß die ozeanischen oder kontinentalen Krustenstrukturen eine unveränderliche, ortsverbundene Eigenschaft der Kruste sind, nicht stimmen kann.

Es wäre ja auch möglich, daß hier eine magmatische Basifikation der Unterkruste stattgefunden hat, wie ich das auch für das angrenzende karibische Gebiet vorgeschlagen habe (1958, Fig. 5, S. 13). Ein derartiger geochemischer Prozeß würde die Transformation eines kontinentalen Gebietes in ein Meeresgebiet zufolge haben, was ich (in 1958, S. 10) „Ozeanisation" nannte. Oder es könnten an der Unterseite der Kruste Erscheinungen der Polymorphie aufgetreten sein, im Sinne der Vorstellungen KENNEDYS (1962) und anderer, wodurch Phasen höherer Dichte entstanden sind, und die Moho-Diskontinuität sich nach oben verlagert hat. Eine dritte Möglichkeit wäre, daß Strömungen unterhalb der Kruste sialisches Material abgeführt haben, nach den Vorstellungen von GILLULY und GIDON (1962). Diese Hypothesen würden das Problem der Sigsbee Knolls in fixistischer Art lösen.

In den letzten Jahren steht auch eine neue geophysikalische Hilfsmethode zur Verfügung, nämlich die Messungen des thermoremanenten Gesteinsmagnetismus oder „Paläomagnetismus", dessen Ergebnisse jedoch auf Mobilismus in der Geotektonik deuten.

Im nächsten Kapitel werden wir etwas ausführlicher auf die paläomagnetische Hilfsmethode eingehen, die im Geologischen Institut der Reichsuniversität zu Utrecht speziell studiert und geologisch angewandt wird.

B) Die paläomagnetische Prüfungsmethode

Wenn vulkanische Gesteine abkühlen und erstarren, nachdem sie hochgedrungen bzw. ausgeflossen sind, fixieren sie in ihren ferromagnetischen Mineralien (beim Passieren des sogenannten Curiepunktes) die Lage des erdmagnetischen Feldes, am Ort und im Moment ihrer Entstehung. Auch in Sedimenten und speziell in den „Red Beds" wird das während (oder

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

kurz nach) der Sedimentation bestehende erdmagnetische Feld festgelegt, wenn auch meist viel schwächer und oft mit einer etwas niedrigeren Inklination als bei vulkanischen Gesteinen von gleicher Herkunft und Alter.

Es ist möglich, in orientierten Gesteinsmustern die Deklination und Inklination des fixierten thermoremanenten Magnetismus zu messen. Dadurch wissen wir die dortige Lage des erdmagnetischen Poles mit Bezug auf dieses Gestein im Moment seiner Entstehung.

Es müssen noch verschiedene Korrektionen angewandt werden, vor allem die Entfernung mittels Wechselströmungen des „weichen", später induzierten Gesteinsmagnetismus. Dann auch Korrektion für spätere tektonische Verstellungen. Man braucht sehr viele Messungen, um den Einfluß der säkularen Variation des erdmagnetischen Feldes zu beseitigen. Die Dispersion der Austrittspunkte der Dipolachse kann sehr groß sein (Creer, 1963).

Es hat sich mit ziemlich großer Sicherheit herausgestellt, daß während der letzten 500 Millionen Jahre der Erdgeschichte, die zu den verschiedenen Kontinenten gehörenden magnetischen Polpositionen sich entlang mehr oder weniger gut abgezeichneter Bahnen verlagert haben. Kalashnikov (1961) kommt zum Ergebnis, daß der zu Eurasia gehörende Pol sich in den letzten 500 Millionen Jahren der Erdgeschichte mit einer mittleren Geschwindigkeit von 2 cm im Jahr nordwärts verlagert hat. Die „Polpfade" der verschiedenen Kontinente kommen schließlich alle im rezenten Austrittspunkt der Rotationsachse der Erde zusammen. Das statistische Mittel des Austrittspunktes der Rotationsachse und der magnetischen Dipolachse der Erde fallen zusammen. Die Abweichung, die jetzt besteht, ist ein zeitweilige Erscheinung der säkularen Variation. Die Dynamotheorie Bullards scheint den Erdmagnetismus in befriedigender Weise zu erklären. Auch die Umkehrungen, wobei Nord- und Südpol wechseln (Engl. „reversals"), werden durch diese Theorie erklärt.

Die Erde ist ein gyroskopisches System, wobei der Stand der Rotationsachse im Bezug zur Ekliptik sich nicht geändert haben kann. Es bestehen die folgenden Deutungsmöglichkeiten für die paläomagnetisch festgestellten Polverlagerungen.

a) Die Erdmasse hat sich als Ganzes um die Rotationsachse bewegt (Gold, 1955).

b) Der Silikatmantel hat sich in seiner ganzen Mächtigkeit (oder nur bis zu einer bestimmten Tiefe) und zusammen mit der überlagernden Kruste gegen den Kern verschoben.

c) Die Kruste hat sich als Ganzes, wie eine zusammenhängende Erdhaut, gegen Mantel und Kern verschoben.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

d) Teile der sialischen Kruste haben sich, zusammen mit Teilen des darunter liegenden simatischen Mantels, an Tiefenbrüchen entlang, gegenseitig verschoben, wobei die mobile plastische Basis in verschiedenen Tiefenbereichen des Mantels gelegen haben kann.

e) Teile der sialischen Kruste haben sich mosaikartig über den simatischen Untergrund gegeneinander verlagert (gleichzetiig oder in verschiedenen Zeiten bewegend), während die Erde als Ganzes (Kern und Mantel) im Bezug zur Rotationsachse stabil war.

Man hat also viele Möglichkeiten, die Polarwanderungen zu deuten. Dabei sind zwei Gruppen zu unterscheiden: Der Pol verlagert sich uniform für alle Kontinente (a, b oder c); oder die Kontinente zeigen verschiedene Polwanderwege (d oder e).

Aber bevor wir uns näher mit der Deutung befassen, ist es erwünscht, VAN HILTENS neue Methode der Verarbeitung der Meßergebnisse zu besprechen.

Es ist nämlich schwer, sich vorzustellen, welche Verlagerungen und Drehungen ein Krustenteil durchgemacht hat in bezug auf seinen Wanderweg; denn der damalige Pol war in manchen Fällen weit weg und lag ganz woanders auf der Erdoberfläche. VAN HILTEN (1962) zeigte, daß es visuel viel übersichtlicher wirkt, wenn man auf die Kontinente selbst die paläomagnetischen Isoklinen zeichnet, die zu einer bestimmten Polposition in einer geologischen Periode gehören. Nach der Formel $tg.\, I = 2tg\, \theta$ [I=Inklination, θ = Breitegrad („Latitude")] sind diese Isoklinen zugleich auch Linien gleicher Breitengrade („Paläolatituden"). Es ist dann besser ersichtlich, wie die Kontinente oder Teile der Kontinente, verschoben und gedreht werden müssen zur Erhaltung eines uniformen magnetsichen Dipolfeldes der Erde zu jener Zeit. Da wir mit Hilfe der Inklinationen nur die Breitengrade des Kontinentes bestimmen können und nicht die Längen, bleibt hier noch eine Freiheit in der Verschiebung, die nur beschränkt wird durch die geologische Bedingung, daß nie eine Überlagerung von Kontinentschollen stattgefunden haben kann.

Man soll auch achtgeben, daß nur die Verschiebungen der stabilen Schilde (Kratone) betrachtet werden, da in den Mobilzonen, wie in der Tethys, wohl ganz große Verdrehungen und Verschiebungen aufgetreten sind. In den alpinen Gebirgssystemen kann man das Problem der Kontinentverschiebungen also nicht lösen. Aber man kann versuchen, mit Hilfe dieser Methode lokale (geo)tektonische Probleme zu lösen, wie z. B. die Rotation des Dolomitengebietes (VAN HILTEN, 1961; J. DE BOER, 1963) oder den Charakter der Lewisüberschiebung an der Ostseite der kanadischen Kordilleren (NORRIS und BLACK, 1961).

Dieses Gesamtbild der Paläobreitengrade kann in der Zukunft mehr und

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

mehr verfeinert werden, wenn sich z. B. herausstellen würde, daß auch innerhalb der kontinentalen Schilde größere Blattverschiebungen (Seitenverschiebungen, Geosuturen im Sinne RODS, 1962) wirksam waren.

Die Theorie der Kontinentwanderungen (WEGENER, 1912) wurde in den vergangenen Jahrzehnten fast allgemein abgelehnt, da auch andere, mehr fixistisch orientierte Erklärungsmöglichkeiten für die Beobachtungen bestanden, wie allgemeine Klimaänderungen, Bildung von Neuozeanen durch Absenkung von Randkontinenten („Ozeanisation"), die Bildung von Landbrücken usw. Vor allem wurde die Theorie der Kontinentwanderungen jedoch abgelehnt auf Grund geophysikalischer Berechnungen, nach welchen solche großartigen Verschiebungen nicht mit den damaligen Auffassungen bezüglich Kräfte und Widerstände im Erdmantel und in der Erdkruste in Übereinstimmung waren. Die Vorstellungen WEGENERS über Polflucht und Westdrift waren sicherlich recht unzureichend.

Jedoch, wie so oft in der Geschichte der Naturwissenschaften, hat es sich wieder einmal herausgestellt, wie trügerisch und selbsttäuschend es sein kann, etwas abzulehnen, wenn man sich mit seinen stark vereinfachten „Gedankenexperimenten" nicht vorstellen kann, wie so etwas — worauf die Beobachtungen hindeuten — sich ereignen könnte.

Da Kontinentverschiebungen eine differentielle Verlagerung von Teilen der Erdkruste im Bezug auf das Erdmagnetische Dipolfeld sind, kann dieser geotektonische Prozeß ("Epeirophorese" genannt von SALOMON-CALVI) paläomagnetisch verifiziert werden.

Die vorläufigen Ergebnisse des Paläomagnetismus scheinen darauf hinzudeuten, daß große Kontinentverschiebungen wirklich stattgefunden haben (RUNCORN, 1962; KROPOTKIN, 1962), obschon von der Seite der fixistischen Schule noch versucht wird, die Bedeutung dieser Ergebnisse zu reduzieren oder gar zu leugnen (REZANOV, 1962).

Es scheint, daß man mit einer Erklärung der Polwanderung nach einer der Möglichkeiten a, b, oder c nicht auskommt, und daß tatsächlich Epeirophorese stattgefunden hat (Möglichkeiten d oder e). Am Ende des Paläozoikums waren Nordamerika und Europa näher beieinander und südlicher gelegen als heute. Die südliche Hemisphäre („Pangea") ist erst seit dem Jungpaläozoikum (etwa erst in den letzten 200 Milionen Jahren) auseinandergewandert, und die „Atlantische Spalte" fing wahrscheinlich erst vom Jura an sich zu bilden.

Mit dieser jugendlichen Bildung des Atlantik stehen verschiedene rezente geophysikalische und geologische Beobachtungen im Einklang

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Die Sedimente im Randdelta oder „Nepton" *) an der Ostküste Nordamerikas sind wahrscheinlich nicht älter als Unterkreide (HEEZEN, THARP und EWING, 1959).

In der Vorkreidezeit (Jura?) wurde eine 1600 km lange Kette submariner Vulkane zwischen den Bermudainseln und Neu England (NORTHROP und FROSCH, 1962) gebildet. Dieser Vulkanismus könnte mit der Öffnung der atlantischen Spalte zusammenhängen.

An der Ostseite Nordamerikas befindet sich ein Abbruchrand, und östlich davon wurde eine ostwärts auskeilende „Lippe" granitischen Materials seismisch nachgewiesen. Nach RAVEN (1959) besteht diese Lippe aus sialischem Material, das bei der Westdrift Amerikas zurückgeblieben ist. Dieser granitische Keil wird von Dehnungsbrüchen durchschnitten, wodurch sich ein küstenparalleles Grabensystem gebildet hat. Dieses marginale Grabensystem wurde von mir schon vor einigen Jahren auf Grund von OFFICERS seismischen Daten vermutet (1956, Fig. 3 auf S. 139), und es wurde vor kurzem von ENGELEN (1963) mit neuen Argumenten belegt.

Man findet also keine Spur des versunkenen Randkontinentes „Appalachia", das von den Fixisten angenommen wurde und worin der größte Teil der appalachischen Eugeosynklinale zu suchen wäre. Dagegen hat neuerlich SOUGY (1962) an der Nordwestküste Afrikas das Gegenstück zu den NW-vergenten Appalachen Nordamerikas gefunden. Diese OSO-vergenten, etwa 1200 km langen Gebirgsstrang (zwischen 12° und 23° nördliche Breite) hat er die „Mauretaniden" genannt.

Neben den paläomagnetischen Daten sind diese zusätzlichen geologischen, geophysischen und ozeanographischen Beobachtungen, und auch die neuerworbenen Einsichten über den Charakter des Mittelatlantischen Rückens, alle gut im Einklang mit dem, was nach der mobilistischen Vorstellung der Bildung einer postherzynischen atlantischen Spalte zu erwarten wäre. Das ist also nach der Prognose-Diagnose-Methode eine kräftige Stütze für die Richtigkeit der schon mehr als ein halbes Jahrhundert alten Hypothese der Kontinentwanderungen.

Ein anderes Problem ist die Entwicklung der postherzynischen Tethysgeosynklinale. Ist sie fixistisch zu deuten, wie von mir (1960 a und 1961 b) versucht wurde, oder haben dabei doch auch größere und kleinere Schollen Driftbewegungen ausgeführt?

Die Mauretaniden werden an ihrem Nordende vom Agadirbruch (oder „Südatlasbruch") abgeschnitten. Das ist ein fundamentales Lineament

*) Makiyama (1954) führte für solche große sedimentäre Einheiten den brauchbaren Namen „Nepton" ein. Neptone, Kratone und Plutone sind somatische Bestandteile der Erdrinde.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

(„Geosutur) an der Südseite des Tethysgebiets (FURON, 1960). Nach ROD (1962) war der Agadirbruch zuerst eine linke Seitenverschiebung; aber in jüngerer Zeit ist er eine rechte Seitenverschiebung. Er bildet mit dem Zemmourbruch (eine linke Seitenverschiebung im axialen Bereich der nördlichen Mauretaniden) ein konjugiertes Bruchsystem. Nach ROD übt der NNW-Teil Afrikas einen gegen NW gerichteten Kompressionsdruck aus, wobei große wellenartige WSW—ONO gerichtete Verbiegungen im Kraton entstanden (Tindouf Becken, Yetti-Eglab Aufwölbung, Taondenni Becken, Liberia-Ober Volta Aufwölbung). In den anschließenden Sektoren finden Dehnungserscheinungen statt, welche Anlaß waren für den Vulkanismus der Kanarischen Inseln und des NW Küstengebietes (nordöstlich von Agadir).

Dieses Bild würde auf eine NW-Verlagerung Afrikas gegen Europa im Kenozoikum hinweisen, welche in einer Nord- und einer Westkomponente aufgeteilt werden könnte. Diese Annahme findet eine Stütze in den paläomagnetischen Untersuchungen von J. DE BOER (1963) in den Vizentinischen Alpen Norditaliens.

Im Mesozoikum hat das Grundgebirge des Vizentinischen Gebietes wahrscheinlich ganz beträchtliche Westdrift-Bewegungen durchgemacht, wobei es auch ungefähr 60° entgegen dem Uhrzeigersinn rotiert worden ist. Im Alttertiär war die Scholle des Dolomitengebietes dann auf der + 50° Isokline des Eozäns angelangt; das wäre an der Stelle, wo jetzt Süditalien liegt. Zwischen dem Mitteleozän und dem Mitteloligozän (also in etwa 20 Millionen Jahren) wurde es 800 km nach Norden verschoben, bis in die gegenwärtige Lage. Das wäre also eine mittlere Driftgeschwindigkeit von 4 cm pro Jahr.

Diese Nordwärts-Verfrachtung konnte die Folge sein der von ROD vermuteten NW-Bewegung Afrikas zu dieser Zeit. Es wäre aber auch möglich, daß eine relative Südbewegung Eurasiens stattgefunden hat, wie SCHEIDEGGER (1961) für die Gegenwart auf Grund seiner Analyse der Bewegungsrichtungen in eurasiatischen Erdbebenzentren vermutet.

Die von DE BOER auf Grund seiner paläomagnetischen Daten für die Dolomitenscholle angenommenen Driftbewegungen innerhalb der Tethyszone, würden kolossale Ausmaße und große Geschwindigkeiten aufzeigen. Der vorsichtige und konservative Geländegeologe wird davor zuerst wohl zurückschrecken und zur Ablehnung neigen. Aber es sind keine abnormalen Größenordnungen, wenn man diese Werte vergleicht mit den Abständen und Geschwindigkeiten, welche die Paläomagnetiker für die Verlagerungen Indias und Australiens annehmen.

VAN HILTEN (1962, S. 423) schätzt die mittlere Geschwindigkeit von

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

India auf 10,8 bis 12,9 cm/Jahr während 50 bis 60 Millionen Jahren, und die von Australien auf 6,7 bis 8,0 cm/Jahr im Laufe von 160 Millionen Jahren.

Mit diesem Vordringen Australiens in nordöstliche Richtung in die Pazifik wäre im Einklang die Bildung einer großartigen rechten Seitenverschiebung an der Südostseite (die „Alpine Fault" in Neuseeland, welche KINGMA, 1959, beschreibt), und einer großen linken Seitenverschiebung im Vogelkopf Neuguineas oder Irian Barats (welche VISSER und HERMES 1963 beschreiben).

An der Frontseite der australischen Kontinentscholle wurden ozeanische Sedimente und basische bis ultrabasische Vulkanite hochgestaut. Die Metamorphite des Zyklopgebirges bei Hollandia (Neuguinea) und die Zone der nickelhaltigen Peridotite, die sich von Ostcelebes (Sulawesi) bis nach Neukaledonien ausdehnt, könnten als Produkte dieser NO-Wanderung der australischen Kontinentscholle gedeutet werden.

Die von mir für Indonesien beschriebenen, rhythmischen Seitwärtsverlagerungen der Orogenese im Sunda-Gebirgssystem (die meso-undatorischen Entwicklungszyklen) können m. E. am besten vom fixistischen Standpunkt aus beschrieben und gedeutet werden. Aber die Entwicklung wird wahrscheinlich durchkreuzt und beeinflußt durch große Wanderungen im indischen und australischen Rahmen an der Nordwest- und Südostseite.

Bevor wir jedoch versuchen, die Frage des Mechanismus' solcher Kontinentverschiebungen zu erörtern, ist es erwünscht, zuerst noch einige Ergebnisse neuer ozeanographischer Untersuchungen in Betracht zu ziehen.

C) die Ostpazifische Schwelle

Die Ostpazifische Schwelle stellt einen Teil einer mehr als 60.00 km langen Folge untermeerischer Rücken dar, die sich ungefähr zweimal um die Erde schlingt. Die verschiedenen Ausschnitte dieses Systems (Mittelatlantischer Rücken usw.) befinden sich wahrscheinlich in verschiedenen Stadien der Entwicklung. Wir wollen den ostpazifischen Teil dieses Systems etwas näher betrachten an Hand der Untersuchungen, die vom „Scripps Institution of Oceanography" an den letzten Jahren durchgeführt worden sind (MENARD, 1961). (Siehe Fig. 1.)

Die ozeanische Schwelle hat eine N—S-Länge von etwa 12.500 km (zwischen 55° südlicher Breite und etwa 50° nördlicher Breite). Ihre Breite ist 2000 bis 4000 km, mit Höhen bis etwa $4^1/_2$ km über den Ozeanboden. Sie hat die Dimensionen der Geoundationen meiner früheren Einteilung der Primärtektogenese.

Der axiale Teil ist markiert von Horst- und Grabenstrukturen in der

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

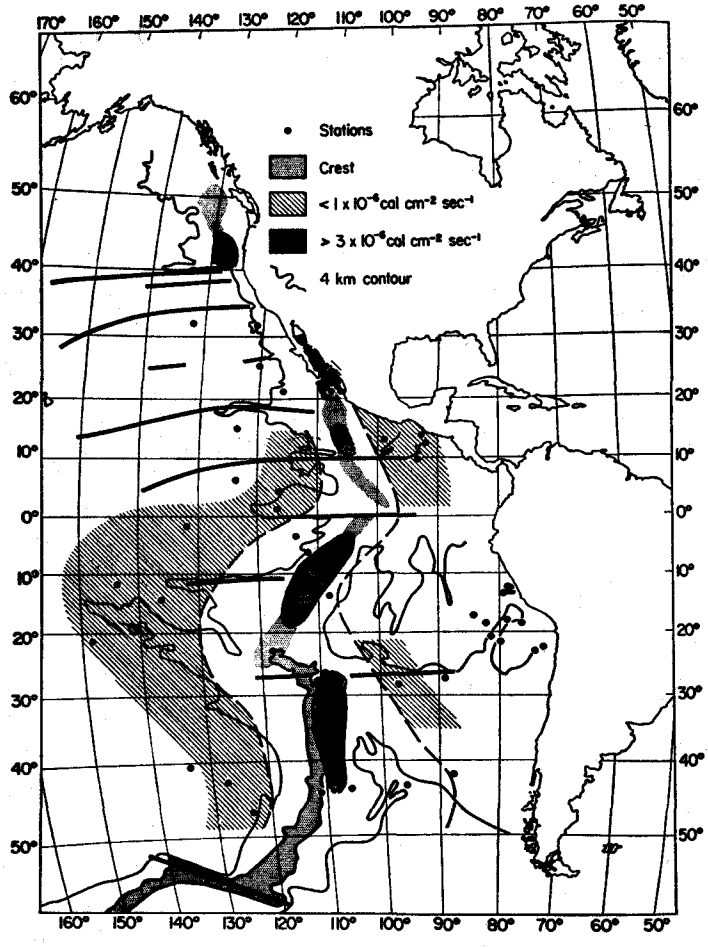

Fig. 1. Die Ostpazifische Schwelle. (Nach Menard).

Längsrichtung; die Wärmeströmung ist dort zwei- bis achtmal größer als der Durchschnitt der pazifischen Wärmeströmung ($1{,}2 \times 10^{-6}$ cal/cm² sec) und in den Flanken ist sie stark unternormal (bis $^1/_{10}$ des Durchschnitts)

Besonders der nordwestliche Teil der ostpazifischen Beulung wird in Abständen von etwa 1000 km durchschnitten von gewaltigen schnurgeraden Ost—West-Rissen, die Längen von 1500 km erreichen. Die Höhendifferenzen beiderseits dieser Risse betragen bis etwa drei Kilometer und es kommen submarine Vulkane auf ihnen vor.

Verschiebungen der erdmagnetischen Anomalien an beiden Seiten solcher Risse deuten darauf hin, daß dort große Seitenverschiebungen stattgefunden haben (1150 km linksvergent am Mendocina entlang auf 40° N.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Breite, 250 km linksvergent am Pioneer entlang, 150 km rechtsvergent am Murray entlang auf 30° N. Breite; RAFF & MASON, 1961).

Im karibischen Gebiete haben HESS und MAXWELL (1956) eine Ostverschiebung der Kruste um etwa 750 km angenommen, die an der Nordseite von einer linken und an der Südseite von einer rechten Seitenverschiebung begrenzt wäre.

Man bekommt den Eindruck, daß riesige Lappen der Erdkruste vom Rücken der Aufbeulung nach ihren Seiten weggeglitten sind. Das wäre eine Art „décollement" der Erdkruste im großen Stil.

R. W. RAITT und G. G. SHOR JR. des Scripps Institutes untersuchten seismisch die Mächtigkeit der ozeanischen Erdkruste in diesem Gebiet und fanden, daß sie im Scheitelgebiet beträchtlich dünner ist (3 bis 4 km) als die normale pazifische Kruste (etwa 5 km). Außerdem ist die Geschwindigkeit der longitudinalen seismischen Wellen unter der Moho-Diskontinuität des Scheitelgebietes etwas niedriger (7,5 bis 7,6 km/sec) als unterhalb der normalen Pazifikkruste (8,1 bis 8,5 km/sec). Das könnte darauf hindeuten, daß in diesem Scheitelgebiet mit hoher Wärmeströmung basaltisches Magma vorkomme neben kristallinen Peridotit, Eklogit oder dergleichen Gesteinen, die sonst das Substrat bilden.

Das dünnere Scheitelgebiet ist etwa 2800 km breit. Wenn es ebenso dick wäre wie anderswo im Pazifik, dann würde dem 2240 km Breite entsprechen. Das deutet also auf eine Dehnung quer zur Längsrichtung um etwa 560 km; d. h., es würde in der Größenordnung mit den obengenannten seitwärts gerichteten Verlagerungen der Krustenlappen übereinstimmen.

Das Gesamtbild der ostpazifischen Schwelle führt zur Vorstellung einer Beulung der Erdoberfläche oberhalb eines Systems zweier entgegengesetzter Strömungssysteme, die unter dem Scheitelgebiet aufsteigen und unter den Flanken absteigen, wie von MENARD, DIETZ, HESS, RAVEN und anderen Autoren angenommen wird. (Siehe oben sub d, S. 216).

Es können in diesem großen irdischen System subozeanischer Schwellen mit Dehnungsspalten im Scheitelgebiet vielleicht Evolutionsstadien unterschieden werden. Zuerst ein Jugendstadium mit Aufbeulung und „décollement" von Krustenlappen (z. B. die ostpazifische Schwelle); dann ein Reifestadium mit basaltischem Scheitelvulkanismus (z. B. die Mittelantische Schwelle); und schließlich Rückkehr zum erloschenem Zustand des submarinen Vulkanismuses in dem eingesunkenen Horst- und Grabensystem (z. B. der Tuamotu Rücken im Pazifik, mit den 60 bis 100 Milionen Jahren alten „Guyots").

Vielleicht könnte auch noch ein embryonales Stadium unterschieden werden, wovon die Aufbeulung des nubisch-arabischen „Geotumors" mit dem Roten Meer als Scheitelgraben das Typenbeispiel wäre.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Obschon diese subozeanischen Schwellen im allgemeinen ungefähr die Achse der Ozeane bilden, liegen sie auch teilweise unter Kontinenten. So geht die ostpazifische Schwelle zwischen 20 und 40° nördlicher Breite unterhalb des westlichen Teiles Nordamerikas hinweg.

Der Verlauf der ostpazifischen Schwelle wird auch nicht vom San-Andreas-Bruch beeinflußt, der doch wohl einen tiefen Mantelbruch darstellt (siehe z. B. den Querschnitt des kalifornischen und „Great Basin" Distriktes in VAN BEMMELEN, 1961, Fig. 2, auf S. 408).

Die Manteleinflüsse, welche dieses ostpazifische Schwellensystem verursachen, scheinen so tief gegründet zu sein, daß es unwichtig ist, ob die obenliegende Kruste einen ozeanischen oder kontinentalen Aufbau hat.

Es können bei den Driftbewegungen an großen Seitenverschiebungen wahrscheinlich Manteleinflüsse aus verschiedenen Tiefenbereichen wirksam sein, so daß man mit einer Stockwerkgeotektonik des Mantels Rechnung tragen müßte.

Die Aufbeulungen und damit zusammenhängenden Driftbewegungen von Teilschollen können während der geologischen Evolution in verschiedenen Ausmaßen und an verschiedenen Stellen aufgetreten sein. Oberflächlich würde das den Eindruck eines kaleidoskopischen Bewegungsspiel der Erdkrustenschollen verursachen. Die Teilschollen der Erdkruste und des äußeren Mantelbereiches können durch Ozeane, geosynklinale Mobilzonen oder Seitenverschiebungen voneinander getrennt sein. Sie können aneinander vorbeitreiben oder frontal gestaut werden und passive Abbruch- und Dehnungsränder an der Rückseite zeigen.

D) Versuch einer Einteilung der geotektonischen Stockwerke der Erde

Die Beobachtungen an der ostpazifischen Schwelle führten uns zur Auffassung, daß die Evolution der Erdrinde wahrscheinlich analysiert werden muß als Ergebnis aufeinander superponierter Bewegungsvorgänge verschiedenster Ausmaße (siehe auch VAN BEMMELEN, 1958, 1962).

Die fundamentale Voraussetzung für ein geo-hydrostatisches Gleichgewicht im Silikatmantel ist, daß die spezifische Dichte mit der Tiefe zunimmt (gleichmäßig oder sprunghaft), wobei die Flächen gleicher Erdrotation etwas abgeplattete Kugelform haben. Lokale Abweichungen dieses Zustandes verursachen Deviatorspannungen, die (mittels Deformationen und Strömungen) danach streben, den Zustand minimaler Energie der Lage wieder herzustellen.

Es gibt drei Ursachen für Änderungen spezifischer Dichte:

1. Änderungen von Temperatur und/oder Druck,
2. Änderungen der Phase (Packungsdichte der Elemente),
3. Änderungen der mittleren chemischen Zusammensetzung.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Die ersten zwei Ursachen sind reversibel; die dritte ist ein irreversibeler Prozeß, der die Folge von Atom- und Ionendiffusionen oder magmatischem Transport und Differentiationen der Elemente darstellt.

1. Die Änderungen der spezifischen Dichte durch Temperatur- und Druckeinflüsse sind der Größenordnung nach im allgemeinen viel kleiner als jene, die von Phasenübergängen oder Änderungen der chemischen Zusammensetzung verursacht werden. Für thermal bedingte Konvektionsströmungen ist chemische Homogenität Voraussetzung. Thermale Konvektionsströmungen könnten unter Umständen zwar die Schwellen der reversiblen Phasenübergänge überwinden, aber nicht jene der stabilen Lagerungsverhältnisse, welche die Folge sind von Schichten verschiedener chemischer Zusammensetzung und mit der Tiefe zunehmender Dichte.

Diese Grundbedingung — dieses „sine qua non" — der thermal bedingten Konvektionsströmung wird oft von den geophysischen Verfechtern dieser Konzeption außer acht gelassen, oder zu leicht beiseite geschoben. Geologische, geochemische, thermodynamische, seismisch und gravimetrische Daten und Überlegungen machen eine solche chemische Homogenität für den äußeren Mantel und die Erdrinde weniger wahrscheinlich. Nur lokal, wie in den vollkommen geschmolzenen Teilen vom Magmaherde, ist eine rein thermal bedingte Konvektion möglich. Sonst scheitert sie an den chemisch bedingten „Schwellen" anderer Dichte.

2. Die Phasenänderungen können sehr große Dichtesprünge verursachen. Viele Autoren sind der Meinung, daß die seismische Mohorovicic-Diskontinuität durch einen Phasenübergang oder Phasenübergänge verursacht wird (Fermor, 1914; Goldschmidt, 1922; Holmes, 1927; Yoder, 1950; Mason, 1953; Gordon J. F. Macdonald, 1954, 1959; Robertson, Birch, G. J. F. Macdonald, 1957; Lovering, 1958; G. C. Kennedy, 1962; Borchert, 1962). Diese Auffassung wird zwar auch bestritten (Bullard und Griggs, 1961), aber sie vereinigt so viele Beobachtungen in einem logisch zusammenhängenden Bilde, daß sie doch große Aufmerksamkeit verdient. Die meisten tektonischen und gravimetrischen Erscheinungen im Bereich der Erdrinde können damit in Einklang gebracht werden (siehe besonders Kennedy, 1962). Auch das auf S. 214 besprochene Problem der Salzdiapire im abyssalen Teile des Golfs von Mexico könnte damit erklärt werden. Eine solche Deutung der Ursache der Tektogenese wäre zu den fixistischen Konzeptionen zu rechnen.

3. Änderungen der Zusammensetzung infolge physikalisch-chemischer Prozesse können mit der Zeit große Änderungen der Dichte verursachen. Wegen des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik können solche Änderungen nicht rückläufig werden. Prozesse, die dem chemischen Gleichgewicht nachstreben, haben jedoch den Begleiteffekt, daß sich das spezi-

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

fische Gewicht der betreffenden Massen ändert. Weil sie die relative Energie der Lage ändern, stören sie das gravitative Gleichgewicht.

Nach Inkubationsperioden, während welcher Energie der Lage akkumuliert wird, treten Masserverlagerungen auf, die bestrebt sind, diese Energie der Lage wieder auf ein Minimum zu reduzieren. Da die Kompressibilität der Gesteinsmassen in der Tiefe gering ist (abgesehen von der Möglichkeit von Phasenübergängen), haben solche Massenverlagerungen den Charakter eines Platzaustausches. Es sind Strömungssysteme, die irreversibele, einmalige Prozesse in chemisch inhomogenenen Systemen sind; sie dürfen nicht mit den thermal bedingten Konvektionsströmungen verwechselt werden, welche ein reversibeler und daher möglicherweise mehrmaliger Prozeß in chemisch homogenen Systemen sind.

Das Prinzip der chemischen Differentiation in der Tiefe („Hypodifferentiation") habe ich früher angewandt auf die intermediäre, basische Schicht der Tektonosphäre (VAN BEMMELEN, 1948, 1954). Aber in diesem Tiefenbereich können neben magmatischer Kristallisationsdifferentiation wegen Abkühlung, auch Phasenübergänge wegen Änderungen der Temperatur und des Druckes wichtig sein: z. B. Anatexis an der Basis der Sialkruste durch größere Wärmezufuhr aus der Tiefe oder die obengenannten Phasenübergänge im Bereich der Moho-Diskontinuität (KENNEDY, 1962).

Durch solche Prozesse unter Einfluß von Wärmezufuhr aus der Tiefe, z. B. an tiefen Mantelbrüchen entlang, können auch die lokalen Anhäufungen von basischen und sauren Magmen entstehen, die ich „Asthenolithe" genannt habe. Diese Herde von spezifisch relativ leichteren Magmen werden dann schließlich durch archimedische Kräfte emporgedrückt. Sie funktionieren als „Gebirgswurzel", die nach den mobilistischen Hypothesen das Ergebnis von Einknickung oder Verschluckung der Sialkruste sein würden.

Wie auch von RAMBERG (1963) betont wird, ist (vom thermodynamischen Standpunkte aus betrachtet) die Treibkraft der orogenetischen Kettenreaktion nur Wärmezufuhr aus der Tiefe. Die ganze Tektogenese wäre letzten Endes das Ergebnis des Funktionierens einer „Wärmemaschine". Die ganze Tektonosphäre wäre die Wirkungssubstanz dieser Maschine, und der Wirkungsgrad hängt von der Effizienz ab, womit Wärmeenergie mittels physikalisch-chemischer Prozesse in Energie der Lage und schließlich in Bewegungsenergie umgesetzt wird.

Die Wärmezufuhr an der Erdoberfläche kann nur zum Teil radiogen sein. Die normale Wärmeströmung der Kontinente könnte ja schon vom Gehalt an Uran, Thorium und radioaktivem Kalium (K^{40}) einer 25 km mächtigen Granitschicht geliefert werden.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Bei übermäßiger Wärmezufuhr aus der Tiefe entsteht nicht — oder nur vorübergehend, wie bei vulkanischen Durchbrüchen — eine größere Wärmeströmung. Das Übermaß an Wärme könnte verbraucht werden in endothermen physikalisch-chemischen Reaktionen. Diese letzteren würden schließlich — mittels Zunahme der Energie der Lage — zur Orogenese und zum Plutonismus und Vulkanismus führen können.

Eine solche Umwandlung, und ein solcher Verbrauch von Wärme in physikalisch-chemischen Prozessen, wäre eine Erklärung für die befremdende Tatsache, daß die mittlere Wärmeströmung für Ozeane und Kontinente die gleiche Größenordnung hat (etwas mehr als eine Millionstel Kalorie pro Quadratzentimeter pro Sekunde).

Die Quelle der Wärmeproduktion im Erdinnern ist jetzt wahrscheinlich nicht mehr in erster Linie die natürliche Radioaktivität instabiler Nukleiden. Das mag zwar in den ersten turbulenten Zeiten der Geogenese der Fall gewesen sein (VAN BEMMELEN, 1948, 1952), aber seitdem sind es nur noch die langlebenden radioaktiven Bestandteile des Sials, die einige Bedeutung als Wärmeerzeuger haben. Während der geologischen Evolution war die Hauptquelle der endogenen Kräfte wahrscheinlich die physikalisch-chemische Anpassung der Verteilungen und Verbindungen der Elemente an die neuen Temperatur- und Druckverhältnisse.

Wir sollen die Grundursache der Geotektonik also nicht in der intermediären Basaltschale der Erdrinde suchen, wie ich früher meinte, sondern tiefer, und zwar im Mantel. Nach RITTMANN (1960) ist die sialische Erdkruste größtenteils schon im Anfang der Erdgeschichte aus der Pneumatosphäre gebildet worden. Seitdem ist sie zwar vielfach in orogenen Zyklen umgelagert worden, aber sie hat nur wenig Zufuhr juveniler Bestandteile aus der Tiefe erhalten.

Dieser Erdschaum war im Altpaläozoikum in der südlichen Hemisphäre (als „Pangea") beheimatet. Das deutet darauf hin (nach HILLS Idee), daß Superkreisläufe in der Erde im Stande waren, ihren Weg quer durch das Kerngebiet des Erdballs hindurch zu nehmen. Das würde bedeuten, daß es erstmals noch keinen festen Kern gab und daß dieser seitdem entstanden und gewachsen ist bis zu seinem heutigen Durchmesser (RUNCORN 1962).

Die von diesem kolossalen junggeologischen Kernwachstum betroffene äußere Wirkungsgrenze wäre nicht im Wachstum der dünnen Sialkruste zu suchen, sondern vielmehr im äußeren Teil des Mantels, der nach der Größenordnung des Volumens mit dem Kernwachstum mehr in Übereinstimmung ist.

Der äußere Teil des Mantels ist wahrscheinlich größtenteils kristallin. Die Zunahme der Geschwindigkeit der seismischen Wellen unter der Moho-Diskontinuität und die tiefen Erdbebenherde deuten eher auf einen

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

kristallinen, als auf einen geschmolzenen Zustand hin; Olivinknollen in Basaltergüssen tiefer Herkunft, Hochdruckmischkristalle und Diamanten in den Kimberliten sind solche Andeutungen für das Vorkommen des kristallinen Zustandes in größeren Tiefen als der Moho-Diskontinuität (Borchert, 1962).

Gutenberg deutete den Rückgang der Wellengeschwindigkeiten in etwa 100 bis 200 km Tiefe als das Ergebnis einer teilweisen Einschmelzung. Dieser „Gutenbergsche Kanal" ist analog zu der schon früher von Bailey Willis vermuteten „Asthenosphäre". Die normalen Erdbeben treten im sialischen Grundgebirge auf; die intermediären Herde können noch im unteren Teil des kristallinen und hochviskosen Außenmantels liegen, wie die Floresseebeben in Indonesien mit — 720 km Herdtiefe.

Wie auch von Shimazu betont wird, erlangt der Mantel in noch größerer Tiefe wahrschienlich allmählich eine andere chemische Zusammensetzung sowie einen nichtkristallinen Zustand. Die Änderungen der chemischen Zusammensetzung hängen vielleicht mit dem hohen Druck zusammen, wodurch Ionen geringer Dichte und mit großem Radius, wie die Sauerstoffionen, aus den Verbindungen hinausgequetscht werden (van Bemmelen, 1952; Shimazu, 1961). Solche Prozesse würden eine Aufspaltung des Materials des inneren Mantels verursachen, einerseits in leichtere Fraktionen, die zum Außenmantel aufsteigen, und andererseits in schwerere metallische Rückstände, die zum Kern abgesaigert werden (Runcorn, 1962, S. 34). Das wäre eine Art „Hypodifferentiation" des Innenmantels, welche das gravitative Gleichgewicht stört und zu primär aufsteigenden und primär absinkenden Strömungen führt (van Bemmelen, 1958).

Solche Strömungssysteme im Innenmantel, welcher im gegenwärtigen Stadium der Erdevolution noch etwa 2000 km mächtig ist, können auch Rollen (Walzen) und Zellen bilden mit etwa 2000 km Durchmesser. Das wären aber keine reversibelen, durch Temperaturunterschiede verursachten, rein physikalischen „Konvektionsströme", sondern diese Strömungen sind das Ergebnis irreversibeler, physikalisch-chemisch bedingter Massenströmungen, die durch Platzaustausch im Mantel entstanden waren. Dieser Innenmantel wäre also die primäre Quelle der endogenen Energie. Der Antrieb dieses „Motors" beruht auf thermodynamisch bedingten, physikalisch-chemischen Reaktionen. Diesen Innenmantel der Erde könnte man vergleichen mit der Kambiumschicht, die beim Baumwachstum nach innen Holz und nach außen die Rinde ausscheidet.

Je mehr diese Zwischenschicht, dieses „Kambium der Erde" an Mächtigkeit abnimmt, desto kleiner wird der Durchmesser der Kreislaufzellen (siehe z. B. Runcorn, 1962, Fig. 26 und 27).

Aber die Massenkreisläufe im Innenmantel erreichen wahrscheinlich

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

nicht die äußere Kruste, wie von vielen Autoren angenommen wird (MENARD, RUNCORN, DIETZ, RAVEN, u.a.). Dazu haben der Außenmantel und die Rinde zu sehr stabile, chemisch bedingte Lagerungsverhältnisse. Viel wahrscheinlicher ist die Deutung BERNALS (1961), der solche Kreisläufe auf den Innenmantes zwischen 900 und 2900 km Tiefe beschränkt (siehe Fig. 2). Die äußeren 900 km der Erdsphäre bilden lediglich die „Wirkungssubstanz", wodurch die endogene Energie sich nur stufenweise mit einem Wechsel der Art der Energie nach der Oberfläche hinauf, auswirken kann.

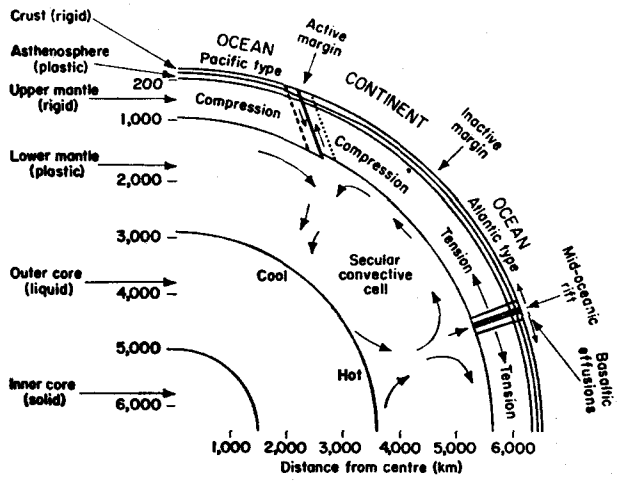

Fig. 2. Die geotektonischen Stockwerke (Nach Bernal, 1961).

Die geotektonischen Prozesse in der äußeren Erdhaut wären also das Ergebnis einer „Stockwerktektonik" größten Stiles, wobei Bewegungstendenzen der verschiedenen Tiefenbereiche aufeinander superponiert sind.

Tabelle I gibt einen Versuch, diese geotektonischen Stockwerke der Erde zu unterscheiden. Die Tabelle ist das Ergebnis einer konsequenten Verfolgung der zwei fundamentalen Leitlinien meiner Konzeption der Erdentwicklung, welche ich schon während mehr als dreißig Jahren auszubauen versuche: (A) Physikalisch-chemische Prozesse im weitesten Sinne sind der fundamentale Lieferant der endogenen Energie der Erde, und (B) diese physikalisch-chemischen Prozesse führen zu gravitativ bedingten Massenverlagerungen, das heißt „Gravitationstektonik" im weitesten Sinne.

Eine solche Konzeption sieht die Erdentwicklung als einen irreversiblen

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Prozeß im Rahmen der kosmischen Evolution. Das „Altern der Erde" und die graduellen oder stufenweise auftretenden Änderungen im Charakter und Ausmaß der geotektonischen Erscheinungen sind davon die Folge.

Diese weitere Ausarbeitung der Leitlinien der Undationstheorie (mit Hilfe der Prognose-Diagnose Prüfungsmethode) hat schließlich zu einer Neohuttonischen Synthese geführt, die weder (nur) fixistisch, noch (nur) mobilistisch ist. Man könnte sie „relativistisch" nennen; denn es hängt nur vom Standpunkt der Betrachtungen ab, ob die tektonischen und geotektonischen Massenverlagerungen innerhalb des Blickfeldes bleiben oder daraus wegwandern.

Die alpinotype Orogenese, wie jene der Alpen und Indonesiens, sind größtenteils auf Mobilzonen in der Rinde beschränkt und können fixistisch in diesem Rahmen betrachtet werden. Aber diese Gebirge können mit dem Rahmen als Ganzes oder nur teilweise über die Asthenosphäre (oder sogar den Innenmantel) verfrachtet werden und ein von Seitenverschiebungen begrenztes Schollenmosaik zeigen; also das mobilistische Bild der Driftbewegungen in Bezug auf die begrenzenden Kontinente. Wenn die Driftbewegungen sehr große Gebiete kontinentaler Ausmaße umfassen, sind sie wahrscheinlich noch viel tiefer gegründet als die Asthenosphäre. Dann kommen eher Verschleppungen von II c (samt den darauf gelagerten Erdsphären) in Betracht, wie von BERNAL (1961) angenommen wird (Fig. 2). Der Antriebsmotor dieser Epeirophorese wäre dann das Strömungssystem im Innenmantel (II d). Solche kontinentalen Driftbereiche werden von sehr tiefen Mantelbrüchen, sowie von geosynklinalen Mobilzonen und Zonen intermediärer und tiefer Erdbeben begrenzt.

Die geotektonischen Bewegungen sind also das Ergebnis eines komplizierten Systems aufeinander superponierter Massenverlagerungen verschiedenster Ausmaße, welche in den verschiedenen Stockwerken der Erde operieren. Gesteinskomplexe können bei der Verlagerung Bewegungskomponenten senkrecht und parallel zum Rahmen haben. Dazu können Kürzungen, Drehungen und Dehnungen in Bezug auf die allgemeine Bewegungsrichtung auftreten.

Zum Schluß noch eine Bemerkung über den Mechanismus der Seitwärts-Verlagerung. Im Bereich der alpinotypen Orogenesen verlagern sich die Gleitdecken in I a (vom Typus der Helvetiden) aktiv, durch eigene Energie der Lage, schneller und weiter nach dem Vorlande oder nach der Achse der Vortiefe als die darunter liegenden Gesteinsmassen des Grundgebirges I b. Dagegen werden die rheomorphen Kerne der Injektionsdecken aus dem Bereich des Asthenolithen I c (vom Typus der Penniden) schneller und weiter seitwärts gequetscht als darüber liegende Teile von I b. Letztere können teilweise passiv mitgeschleppt werden; aber sie blei-

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

ben doch zurück, wenn sie nicht mit eigener Energie der Lage vorwärts abgleiten. Man kann also aktive Gleitbewegungen und passive Schleppungsbewegungen bei den Deckenüberschiebungen unterscheiden.

Auch die Driftbewegungen, die eine tiefere Basis haben, können einem dieser zwei verschiedenen Mechanismen unterworfen sein.

Wenn eine Aufbeulung, wie die Ostpazifische Schwelle, seitwärts „décollements" von Lappen der Außenrinde über die Schmierbasis der Asthenosphäre (II b) verursachen würde, die von Seitenverschiebungen vom Typus der Mendocino- und Murraybrüche begrenzt sind, dann wären das eine a k t i v e G l e i t d r i f t.

Wenn aber Südamerika westwärts wandert (und dabei an der Vorderseite andinotype Stauungen sowie eine unter den Kontinent einfallende Zone intermediärer und tiefer Erdbeben zeigt, dann könnte das wahrscheinlich eine p a s s i v e S c h l e p p u n g s d r i f t der Tektonosphäre sein zufolge von Strömungen im Innenmantel (II d).

Das sind aber nur „Prognosen" dieser relativistischen geotektonischen Hypothese, welche zur Zeit noch nicht durch diagnostische, additionelle Beobachtungen geprüft werden können.

Die oben skizzierte Arbeitsypothese hat noch viele andere Aspekte und Konsequenzen. Diese könnten zum Teil experimentell untersucht werden mit Hilfe zentrifugierter Modelle (Ramberg 1963). Alle Erwartungen der Hypothese (Prognosen) können dann eventuell mittels additionellen Beobachtungen (Diagnosen) geprüft werden. Nur wenn die Deduktionen bestätigt werden könnte man sagen, daß diese Arbeitshypothese eine Theorie ist, welche operationell richtig ist, so daß bei der Beschreibung der geotektonischen Prozesse der Erdevolution angewendet werden darf.

E) Schrifttum

B e l o u s s o v, V. V. (1962): Basic Problems in Geotectonics. Editor J. C. Maxwell, MacGraw — Hill Book Cy., N.Y.

B e m m e l e n, R. W. van (1948): Cosmogony and geochemistry. Proc. XVII. Int. Geol. Congr. Great Britain, pt. 2, S. 9—21.

— (1952): The endogenic energy of the earth. Amer. J. of Sc., **255**, Feb. 1952, S. 104—177.

— (1954): Mountain Building. M.-Nijhoff-Verlag, den Haag.

— (1956): The geochemical control of tectonic energy. Geol. & Mijnb., N. S. **18**, 4, april 1956, S. 131—144.

— (1958): Stromingsstelsels in de silicaatmantel. Geol. & Mijnb., N. S. **20**, 1, Jan. 1958. S. 1—17.

— (1960, a): New views on East Alpine Orogenesis. Int. Geol. Congr., Proc. 21st sess., Copenhagen ,pt. 18, S. 99—116.

— (1960, b): Die Methode in der Geologie. Mitt. Geol. Ges. Wien, **53**. 1959, S. 35—52.

— (1961, a): The scientific character of geology. J. of Geol. **69**, 4, July, S. 453—463.

— (1961, b): Volcanology and geology of ignimbrites in Indonesia, N. Italy and the U. S. A. Geol. & Mijnb., **40**, 12, Dec. 1961, S. 399—411.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

— (1962): Geologie en geofysica (werkwijze en enige resultaten) Geol. & Mijnb., **41**, 12, Dec. 1962, S. 491—506.

Bernal, J. D. (1961): Continental and oceanic differentiation. Nature, **192**, No. 4798, S. 123—125.

Boer, J. de (1963): The Geology of the Vicentinian Alps (S. Dolomites. N. Italy) with special reference to their paleomagnetic history, Geol. Ultraiectina no. 11, Thesis, Utrecht, 29. April 1963. 178 S., 52 Fig., Karte 1 : 50.000.

Borchert, H. (1962): Chemismus und Petrologie der Erdschalen, sowie die Entstehung und Ausgestaltung der wichtigsten Diskontinuitäten der Erdkruste. N. Jb. Miner., Mh. 7/8, S. 143—163.

Bullard, E. C. & D. T. Griggs (1961): The Nature of the Mohorovicic discontinuity. The geoph. J. of the Roy. Astr. Soc., **6**, 1, Dec. 1961, S. 118—123.

Bullen, K. E. (1959): An introduction to the theory of seismology. London, Cambridge Univ. Press. 1959.

Carey, S. W. (1958): A tectonic approach to continental drift. Continental drift symposium, Hobart, Tasmania.

Creer, K. M. (1963): Geomagnetic and paleomagnetic evidence of fossil axes of rotation of the earth. Nature, 12. Jan. 1963, **197**, S. 112—126.

Dietzel, G. F. L. (1960): Geology and paleomagnetism of the Merano region. (Prov. of Bolzano, N. Italy), Geol. Ultraiectina no. 4, Thesis, Utrecht.

Engelen, G. B. (1963): Indications for large scale grabenformation along the continental margin of the Eastern United States, Geol &Mijnb., **42**, S. 65—94.

Ewing, J. I., J. Lamar Worzel, and M. Ewing (1962):: Sediments and oceanic structural history of the Gulf of Mexico. J. of Geoph. Research, **67**, 6, June 1962, S. 2509—2527.

Furon, R. (1960): Géologie de l'Afrique. Zweite Auflage. Edit. Payot, Paris.

Gidon, P. (1963): Courants magmatiques et évolution des continents (L'Hypothèse d'une érosion sous-crustale). Masson et Cie, édit. Paris.

Gold, T. (1955): Instability of the Earth's axis of rotation. Nature, 175, S. 526—529.

Heezen, B. C., M. Tharp, M. Ewing (1959): The floors of the Ocean, I: The North Atlantic. Geol. Soc. of America, Spec. Paper 65.

Herzen, R. von (1959): Heatflow values from the SE Pacific. Nature, **183**, No. 4665, S. 882—883.

Hess, H. H. & J. C. Maxwell (1953): Caribbean research project. Geol. Soc. Am. Bull., **64**, S. 1—6.

Hilten, D. van (1960): Geology and Permian paleomagnetism of the Val-di-Non Area (W. Dolomites, N. Italy), Geol. Ultraiectina no. 5, Thesis, Utrecht.

— (1962 a): A deviating permian pole from rocks in Northern Italy. Geoph. J. Roy. Astr. Soc. **6**, 3, S. 377—390.
(1962 b): Presentation of paleomagnetic data, polar wandering and continental drift. Am. J. of Sc., 260, June 1962, S. 401—426.

Kalashnikov, A. C. (1961): The history of the geomagnetic fields. Bull. (Izvestiya) Acad. of Sc. USSR, Geoph. Ser. Nr. 7, July 1961, S. 1243—1279. (Englische Übersetzung Am. Geoph. Union., Oct. 1961. S. 819—838.

Kennedy, G. C. (1962): The origin of continents, mountain ranges, and ocean basins. — In: Study of the Earth, edited by J. F. White, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs N. J. S. 349—362.

Kingma, J. T. (1959): The tectonic history of New Zealand. New Zeal. J. of Geol. & Geoph., **2**, 1, Febr. 1959, S. 1—55.

Kropotkin, P. W. (1962): Paleomagnetism, paleoclimates and the problem of extensive horizontal movements of the earth's crust. Übersetzung aus: Sovetskaya geologiya, 1961, no. 5, S. 15—38, in: Int. Geol. Review, Vol. 4, No. 11, Nov. 1962. S. 1214—1234.

Makiyama, J. (1954): Syntectonic constructions of geosynclinal neptons. Mem. Coll. of Sc., Univ. of Kyoto, Ser. B. **21**, S. 115—149.

Mason, B. (1953): Polymorphism and orogeny. Trans. Am. Geoph. Union, **34**, S. 921—923.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Mason, R. G. & A. D. Raff (1961): Magnetic survey off the est coast of North America, 32° N. latitude to 42° N. latitude. Bull. Geol. Soc. Am., **72**, S. 1259—1266.

Menard, H. W. (1961): The East Pacific Rise, Scientific American, **205**, no. 6, Dec. 1961, S. 52—61.

Northrop, J. & R. A. Frosch (1962): Bermuda New England Seamount Arc., Geol. Soc. Am. Bull. **73**, 5, S. 587—594.

Raff, A. D. & R. G. Mason (1961): Magnetic survey off the west coast of North America, 40° N. latitude to 52° N. latitude. Bull. Geol. Soc. Am., **72**, S. 1267—1270.

Raven, Th. (1959): Dérive continentale causée par courants dans le substratum Annales Guébhard, **35/36** (1959—1960), S. 67—118.

Ramberg, H. (1963): „Experimental Study of Gravity tectonics by means of Centrifuged Models." Bull. Geol. Inst. of the Univ. of Uppsala, Vol. XLII, Febr. 1963, 97 S., 53 fig.

Rezanov, I. A. (1962): On continental drift (from paleomagnetic data) Int. Geol. Review, Vol. 4, No. 10, Teil 1, Oct. 1962, S. 1118—1134.

Rittmann, A. (1960): Vulkane und ihre Tätigkeit. Zweite Auflage. F. Enke Verlag, Stuttgart.

Rod, E. (1962): Fault pattern northwest corner of Sahara shield. Bull. Am Ass. Petr. Geol. **46**, 4, April 1962, S. 529—534.

Runcorn, S. K. (1962 a): Towards a theory of continental drift, Nature, **193**, 4813, S. 311—314.

— ed. (1962 b): Continental drift, Int. Geoph. Series, Vol. 3, Acad. Press, New York & London.

Scheidegger, A. E. (1961)— The tectonics of Asia in the light of earthquake fault-plane solutions. (Symposium on earthquake mechanism., U. G. G. I., Helsinki, 1960) Publ. of Dom. Observ., Vol. **XXIV**, 1961, 10, S. 385—387.

— (1963): Principles of Geodynamics. Zweite Auflage. Springer-Verlag, Berlin 1963.

Shimazu, Y. (1962): Thermodynamics of tectogenesis. Earth Science, **58**, Jan. 1962, S. 1—10.

— (1961): Physical theory of generation, upward transfer, differentiation, solidification and explosion of magma's. J. of Earth Sciences, Nagoya University, **9**, 2, Dec. 1961, S. 185—223.

Sougy, J. (1962): West African foldbelt. Bull. Geol. Soc. Am. **73**, 7, July 1962, S. 871—876.

Vacquier, V. (1962): Magnetic evidence for horizontal displacements in the floor of the Pacific Ocean. Continental drift (ed. Runcorn), Int. Geoph. Series, Vol. 3, S. 135—144, Acad. Press, New York & London.

Visser, W. A. & J. J. Hermes (1963): Geological results of the exploration for oil in Netherlands New Guinea. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen. Dl. XX (in Druck).

Wegener, A. (1912): Die Entstehung der Kontinente, Geol. Rdsch. **3**, 4, S. 276—292.

Bei der Schriftleitung eingegangen am 25. Februar 1963.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

TABELLE 1 : VERSUCH EINER EINTEILUNG DER GEOTEKTONISCHEN STOCKWERKE DER ERDE

Nummer		Hauptstockwerke			Seismisches Erdmodell nach Bullen	Unterstufungen der Hauptstockwerke	Tiefen (in KM) unter Meeresniveau Oz.	Kr.	Geb.	Mächtigkeit (in KM) (maximum) Oz.	Kr.	Geb.	Phys. Zustand	Hauptcharakter der Deformationen	Chemische und petrographische Benennungen	Sp. Dichte	(P) Wellengeschw.
I	Ia	R I N D E	Außenrinde	Wirkungssubstanz oder TEKTO(NO)SPHÄRE (sensu largo)	A-Schale ("Kruste")	Sedimenthaut oder "Epidermis"	5-10	0-10	0-15	5	10	15	plastisch	Gleit- und Diapirtektonik	Sedimente	2.4	4-5
	Ib					Grundgebirge oder obere "Kruste" oder "Derma"				0	(30)	(45)	rigid; metamorph	Bruchtektonik; (normale Erdbebenherde)	"Sial" (Granitkruste)	2.7 - 2.8	5 1/2 - 6
	Ic					lokale Asthenolithe oder "Bathyderma"		10-30	5-45	0	0	(30)	rheomorph und magmatisch	Fließ- und Diapirtektonik; Schmierung der Gleitbewegungen in Ia+b	Migmazone mit Asthenolithen (Gebirgswurzel)	2.5 - 2.6	5 1/2
	Id		Innenrinde			Intermediäre (basische) Schale oder untere "Kruste"				5	15-20	10-30	magmatisch oder kristallin	z.T. Fließ- und Diapirtektonik z.T. Bruchtektonik	"Salsima" (basaltische oder gabbroide Schale)	2.8 - 3.0	6 1/2 - 7
					Moho-Disk.	Moho-Disk.	10-15	30-40	(50)								
II	IIa	M A N T E L	Außenmantel		B-Schale	Obere ultrabasische Schale		70-120		etwa 50			kristalline Hochdruckphasen	Bruchtektonik (intermediäre Erdbebenherde)	"Sima" (Dunit, Eclogit, usw.)	3.3 - 3.4	7 1/2 - 8 1/2
	IIb				0.94 R	Gutenberg-Zone (Asthenosphäre)		180-200		etwa 100			unvollständig kristallin	Magma-Diapirismus Schmierung der Gleitbewegungen in I + IIa	"Sima" mit Basaltmagmabildung	3.4 (2.8)	7.9
	IIc				C-Schale 0.85 R	Untere ultrabasische Schale oder "Bathysphäre"		etwa 900		etwa 700			hochviskos unvollständig kristallin	(interm. Erdbebenherde) Bruch- und Fließtektonik (tiefe Erdbebenherde)	"Sifema"	3.5 - 4.5	8-11
	IId		Innenmantel	Antriebsmotor	D-Schale	Primärer phys.-chem. Motor der Geotektonik oder "Kambium"				etwa 2000			viskos nicht-kristallin	Fließtektonik mit phys.-chem. generierten Strömungen	"Sifema"; weniger Si u. O, reicher an Metalloxyden und -sulphiden	4 1/2 - 6 1/2	11 - 13 1/2
					0.548 R			2900									
III	IIIa	K E R N		Dynamo	E-Schale	Außenkern		5000		2100			niedrige Viskosität "flüssig"	magneto-hydrodynamische Wirbel	metallisch	9-11	8-10
					0.22 R												
	IIIb				F-Schale 0.190 R	Innerer Kern				2 x 1300			fest		?	?	11 1/2
					G-Schale 0.0 R			6300									

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Austrian Journal of Earth Sciences

Jahr/Year: 1962

Band/Volume: 55

Autor(en)/Author(s): Bemmelen Reinout Willem van

Artikel/Article: Geotektonische Stockwerke. (Eine relativistische Hypothese der Geotektonik). 209-232