

Der gegenwärtige Stand der Undationstheorie **)

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

(Mit 2 Abbildungen und 4 Tabellen)

Ohne Synthese gibt es keine Wissenschaft und es ist unmöglich, daß sie ohne Hypothesen weiterkäme“

Erich Haarmann

(Z. d. D. Geol. Ges., 83, 1931, S.386)

Inhalt:

| | Seite |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Zusammenfassung | 379 |
| Summary | 380 |
| Einleitung | 380 |
| I. Die Grundbegriffe der Undationstheorie | |
| 1. Das Streben nach innerem Gleichgewicht | 381 |
| 2. Die Störungen des internen Gleichgewichtes und die Reaktionen darauf | 382 |
| 3. Die drei Hauptphasen der Erdentwicklung | 384 |
| II. Die Grundzüge der Undationstheorie | |
| 1. Änderungen und Ausbau der Undationstheorie seit 1931 | 389 |
| a) Historische Entwicklung der Primärtektogenese | 389 |
| b) Historische Entwicklung der generellen Gravitationstektonik | 391 |
| 2. Die Primärtektogenese (Undationen) | 393 |
| 3. Die Sekundärtektogenese (generelle Schwer- krafttektonik) | 396 |
| III. Schema der Kettenreaktionen der Erdentwicklung | 397 |
| IV. Schrifttum | 398 |

Zusammenfassung

Das Streben der Erde nach internem physikalisch-chemischem und gravitativem Gleichgewicht verursacht Kettenreaktionen, wobei die aufsteigende endogene freie Energie in verschiedenen Formen transformiert wird und schließlich als Wärmestrahlung niedriger Intensität ins Weltall ausgestrahlt wird.

Die internen Massenverlagerungen, welche diese Kettenreaktionen begleiten, verursachen Verbiegungen der Erdoberfläche (Primärtektogenese,

***) Vortrag am 6. November 1964 am Institut für Geologie und Paläontologie der Technischen Universität Berlin, in Gemeinschaft mit der Deutschen Geologischen Gesellschaft

*) Anschrift des Verfassers: Geologisches Institut der Rijks-Universiteit Utrecht, Oude Gracht 320, Utrecht, Niederland.

Undationen). Die Energie der Lage, welche durch diese differentiellen Vertikalbewegungen akkumuliert wird, wird abgebaut durch gravitativ bedingte, laterale Massenverlagerungen (Sekundärtektogenese, generelle Gravitationstektonik). Es werden fünf Größenordnungen der Undationen der Erdoberfläche unterschieden (Mega-, Geo-, Meso-, Minor- und Lokal-Undationen; siehe Tabelle II)

Tabelle IV gibt eine allgemeine Übersicht der Kettenreaktion der Erdentwicklung nach dem gegenwärtigen Stand der Undationstheorie.

Abstract

The earth strives for internal physico-chemical and gravitational equilibrium. This causes chainreactions, during which the ascending endogenic free energy is transformed into various forms. It is finally radiated into space as low-level heat.

The internal massdisplacements which accompany these chain reactions, cause deformations of the earth's surface (Primary tectogenesis, Undations). The potential energy, that accumulates is dissipated by flow (secondary tectogenesis, general gravity tectonics). Five classes of magnitude of the undations of the earth's surface are distinguished (Mega-, Geo-, Meso-, Minor- and Local Undations; see Table II).

Table IV gives a general picture of the chain reaction of the evolution of the earth according to the present concept of the undation theory.

Einleitung

Nachdem im Jahre 1930 ERICH HAARMANN'S Buch ‚die Oszillationstheorie‘ erschienen war, wurde diese Konzeption der Geodynamik auf einer speziellen Tagung der Deutschen Geologischen Gesellschaft in Berlin ausführlich besprochen. Wie aus dem Sonderband der Zeitschrift (1931) hervorgeht, wurde dabei viel Kritik geübt. Diese Kritik war in mancher Hinsicht berechtigt, aber man hat damals sozusagen das Kind mit dem Bade ausgeschüttet.

HAARMANN unterschied zwischen differentiellen Vertikalbewegungen, welche Energie der Lage anhäufen (Primärtektogenese) und lateral gerichteten Gleit- und Fließbewegungen, welche die Akkumulationen dieser Energie wieder abbauen (Sekundärtektogenese). Nicht die Erklärung der Ursache der Vertikalbewegungen (die ‚Oszillationen‘ der Erdkruste) war wichtig, sondern die Tatsache ihrer Existenz (HAARMANN, 1931, S. 376).

Weil ich als junger Geologe in den aktiven Orogenen Indonesiens viele Beispiele für die Primär- und Sekundärtektogenese fand, war ich vom Anfang an von den Vorstellungen HAARMANN'S begeistert. Nur suchte ich die Ursache der Oszillationen nicht wie HAARMANN in exogenen kosmi-

schen Wirkungen, sondern in der endogenen physikalisch-chemischen Energie der Erde. Weiter fand ich, daß während der Entwicklung des Sunda-Orogens die Oszillationen sich seitwärts wellenartig verlagerten, so daß ich von ‚Undationen‘ spreche.

Auch die Konzeption der gravitativ bedingten Sekundärtektogenese baute ich aus, nämlich zur Konzeption der ‚generellen Gravitationstektonik‘. Man kann wohl sagen, daß heutzutage der von HAARMANN verfochtene Begriff der gravitativen Tektogenese in der Sedimenthaut, die sogenannte ‚Gleittektonik‘, allgemein anerkannt wird. Aber nach meiner Meinung reichen die Kraftfelder der Energie der Lage auch bis in die tieferen Stockwerke der Erde.

An dieser Konzeption der Geodynamik habe ich von 1931 bis in die Gegenwart immer wieder gearbeitet, indem ich sie — nach der wissenschaftlichen Arbeitsmethode der Prognose und Diagnose (VAN BEMMELEN, 1959, 1961) — mit den Erkenntnissen der Geologie und Geophysik in Übereinstimmung brachte. Die Undationstheorie hat sich also im Laufe der Jahre fortwährend angepaßt an die diagnostischen Befunde der Erdwissenschaft. Sie ist bestrebt, ein kausal zusammenhängendes Bild der geodynamischen Prozesse zu geben. Ihre Vielseitigkeit bietet natürlich mehr Möglichkeiten zur Kritik auf Teilaspekten als bei Theorien, welche nur ein Teilaspekt der Geodynamik betrachten. Andererseits ist gerade diese Vielseitigkeit — wobei versucht wird, nicht gewisse Probleme mittels Hypothesen ad hoc in andere Gebiete der Geodynamik abzuschieben — eine Gewähr für ihre allgemeine Anwendbarkeit als Arbeitshypothese. Dabei braucht kaum noch betont zu werden, daß diese Synthese der Geodynamik, dieses mentale Modell der Erdentwicklung, im Laufe der Jahre vielfach geändert und ausgebaut wurde, je nachdem die Erweiterung unserer Erkenntnisse dazu Anlaß gab. Dieser Prozeß der Anpassung und Verfeinerung der Undationstheorie wird auch in Zukunft weiter stattfinden.

I. DIE GRUNDBEGRIFFE DER UNDATIONSTHEORIE

1. Das Streben nach innerem Gleichgewicht

Die Erde strebt nach internem Gleichgewicht, wobei ein Minimum an freier Energie vorhanden ist. Dieses Gleichgewicht muß auf zwei maßstäblich grundverschiedenen Gebieten erreicht werden;

- (a) im submikroskopischen Bereich und
- (b) im megaskopischen Bereich

(a) Im submikroskopischen Bereich wird ein physikalisch-chemisches Gleichgewicht angestrebt. Hier herrschen die inter-atomaren

elektromagnetischen Kräfte, welche die Verteilung der Elemente in chemischen Verbindungen und end Zustand der Materie bei verschiedenen Bedingungen von Temperatur und Druck bestimmen.

(b) Im megaskopischen Bereich wird ein gravitatives Gleichgewicht angestrebt. Hier ist die Massenkraft der Gravitation maßgebend, wobei die Verteilung der Materie sich dem hydrostatischen und rotativen Gleichgewicht der Erde anpassen muß. Wenn dieses Gleichgewicht nicht besteht, hat die Materie ein Surplus oder Defizit der Energie der Lage. Dieser Zustand führt zu Massenverlagerungen, welche versuchen, die Anomalien der Energie der Lage abzubauen. Solche Massenverlagerungen nennen wir ‚geodynamische Prozesse‘. Sie sind vor allem von der Gravitation bedingt oder mitbedingt: Ob Schrumpfung oder Dehnung oder unregelmäßige Deformationen der Erdoberfläche, ob Unterströmungen oder Kontinentwanderungen, ob Geosynklinalbildung oder Orogenese, ob Geotektonik, Regionaltektonik oder Mikrotektonik — all diese geodynamischen und strukturbildenden (tektogenen) Prozesse im megaskopischen Bereich werden durch die Gravitation (und ihren dazugehörigen Spannungsfeldern) verursacht.

Deshalb spreche ich ganz im allgemeinen von der generellen Gravitationstektonik, welche sich unterscheidet von der nur oberflächlichen, auf die Sedimenthaut beschränkten ‚Abschiebungs- oder Gleittektonik‘.

2. Die Störungen des internen Gleichgewichtes und die Reaktionen darauf

Es bestehen Ursachen, welche das innere Gleichgewicht stören (equilibrrioturbale Faktoren) und Reaktionen darauf, die dieses Gleichgewicht wiederherzustellen suchen (equilibrriopetale Prozesse).

Tabelle I: **Equilibrrioturbale Faktoren der Erde**

Endogene Faktoren:

1. Radioaktive Wärmebildung der Urmaterie mit thermischen Dehnungen und Herabsetzung der Viskosität.
2. Differentiation der Urmaterie mit Anhäufung von Energie der Lage.

Exogene Faktoren:

3. Energieverlust durch Wärmeausstrahlung (Bildung eines Temperaturgradienten)

4. Energieempfang durch Sonnenstrahlung und kosmische Strahlung (atmosphärische und hydrosphärische Zirkulationen selektive Erosion und Sedimentation, Leben)
5. Energie- und Massenempfang durch Regen bzw. Einschlag von kosmischem Staub, Meteoriten und anderen kosmischen Körpern (Astrobleme)
6. Energieverlust durch Gezeitenreibung (Abnahme der Drehungsgeschwindigkeit der Erde, Abnahme der Gezeitenhöhe, Zunahme des Mondabstandes).

Kosmischer Faktor:

Abnahme der Gravitationskonstante g (Dirac) und dadurch Freiwerden physikalisch-chemischer Energie.

Eine kurze Erörterung dieser equilibrioturbalen Faktoren wird anderswo gegeben (VAN BEMMELEN, 1964 a). Hier sei nur bemerkt, daß sie zu den Kettenreaktionen der Erdvolution den Anstoß geben. Aber equilibriopetale Prozesse im Bereich der Physico-Chemie können equilibrioturbal sein im Bereich des gravitativen Gleichgewichtes und vice versa. Diese Kettenreaktionen sind nicht beschränkt auf ein Stockwerk der sphärisch gebauten Erde, sondern sie wirken im allgemeinen vom Erdinneren zur Oberfläche hinauf, wobei sie von einem Stockwerk auf das nächsthöhere hinübergreifen unter Abänderung der Formen, worin die freie Energie sich manifestiert.

Sehr vereinfacht sieht das Schema dieser Kettenreaktion etwa so aus:

- (a) Die primären equilibrioturbalen endogenen Faktoren (1) und (2) beeinflussen die Dichte der Materie und sie akkumulieren eine Energie der Lage.
- (b) Equilibriopetale Massenverlagerungen (die generelle Gravitationstektonik) bauen diese Akkumulationen der Energie der Lage ab. Aber durch ihre Massentransporte wird Material verlagert nach Bereichen mit anderen Temperatur- und Druckbedingungen. Deshalb sind sie häufig equilibrioturbal für das physikalisch-chemische Gleichgewicht an anderen Stellen.

Dort verursachen sie equilibriopetale geochemische Prozesse, welche wieder Energie der Lage aufbauen. Auf kleinerem Maßstab treten dann wieder geodynamische Prozesse auf, und so weiter.

Im dritten Kapitel wird eine Übersichtstabelle gegeben, welche die sukzessiven Etappen dieser Kettenreaktion näher analysiert (Tabelle II und IV).

Tabelle II: Fünf Klassen der Undationen

| Deformationen der Erdoberfläche | Ordnungs- größe des Durch- messers | Tiefenbereich der ursächlichen Massenverlagerungen | Beispiele |
|---------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mega- Undationen | 10.000 km | Mehr oder weniger turbulente Strömungen im unteren Mantel (das tiefe Kambium) mit der Tektonosphäre (sensu largo) als Wirkungssubstanz | Geonomische Deformationen, welche Neu-Ozean- und Kontinentwanderungen verursachen können. |
| Geo- Undationen | 1.000 km | Asthenosphäre (das untiefe Kambium) mit Phasenänderungen Gabbro = Eklogit im Mohobereich | Geosynklinalen wie die Tethys oder der Golf von Mexico; Geotumore wie die Bermudaschwelle |
| Meso- Undationen | 100 km | Unterer Teil der Tektonosphäre (s. str.) zeitweise mobilisierte, migmatische und magmatische „Bathydermis“ (Asthenolithbildung) | Intrageosynklinale Gebirgsketten und Inselbögen mit begleitenden Einmündungen der Kruste (Alpinotype Gebirgssysteme) |
| Minor- Undationen | 10 km | Mittlerer Teil der Tektonosphäre (s. str.), die Kruste oder „Mesodermis“, (plutonische Apophysen der Asthenolithe) | Plutonische Dome und Senken (Gneisdome in Finnland, Askjadom in Island, Dome in Zentral-Dakota, Sundadom auf Java, usw.) |
| Lokal- Undationen | 1 km | Oberer Teil der Tektonosphäre: die Sedimenthaut oder „Epidermis“ | Salz- und Sedimentdiapire mit Randsynklinen, Kreisläufe der NW-Dolomiten (nach Engelen, 1963) |

3. Die drei Hauptphasen der Erdentwicklung

Es wird allgemein angenommen, daß die Erde ursprünglich aus meteorischem Staub zusammengeballt wurde. Der sphärische Aufbau hat sich dann später, im Laufe der Erdevolution, gebildet. Er ist das Ergebnis der Aufspaltung dieser Urmaterie in Erdsphären. Dieser physikalisch-chemische Prozeß der Differentiation der Urmaterie ist wahrscheinlich, zusammen mit der Befreiung radioaktiver Energie, die Hauptursache der geodynamischen Prozesse der Erde.

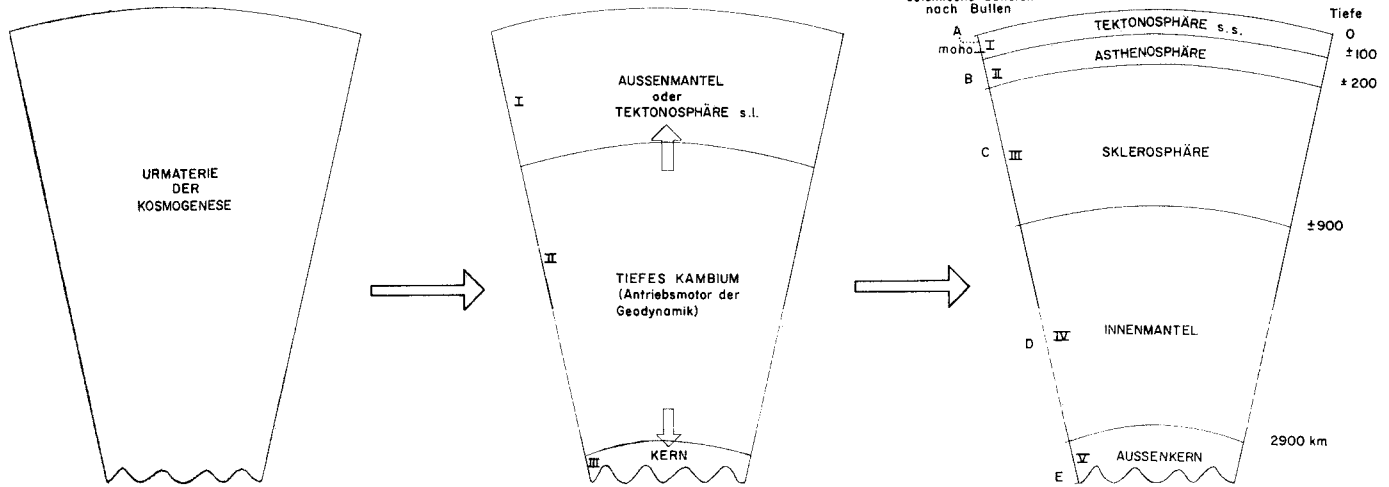


Abb. 1: Schema der sphärischen Aufspaltung der Urmaterie

Der untere Teil des Mantels kann eine chemische Zusammensetzung haben, welche der des Urmaterials der Geogenese noch am meisten ähnlich ist. Aus diesem Urmaterial wurde nach innen der Kern abgeseigert und nach außen ein Außenmantel abgeschieden. Diesen unteren Mantel nenne ich das Tiefe Kambium, im Vergleich mit dem Schicht der (dicotylen) Bäume, welche nach innen Holz und nach außen Rinde bilden. Die äußere Sphäre (Tektonosphäre *sensu largo* genannt in Tabelle I meiner Arbeit über Stockwerktektonik, VAN BEMMELEN, 1962) hatte dann unter den geringeren Temperatur- und Druckbedingungen noch genügend physikalisch-chemische Restenergie für eine weitere Aufspaltung. Speziell bei der Bildung der kontinentalen Kruste konnten dabei auch die exogenen equilibrioturbalen Faktoren (Tabelle I, 3 bis 6) eine Rolle gespielt haben. Dadurch entstanden an der Außenseite der Erde die weiteren Sphären: Die Atmosphäre und die Hydrosphäre; die Rinde, oberhalb der Moho, welche in die kontinentalen Bereiche unterverteilt werden kann, in eine saure (granitische oder granodioritische) Außenrinde und eine gabbroide Innenrinde; der Außenmantel unterhalb der Moho, worin man noch unterscheiden kann eine obere kristalline ultrabasische Schale, eine unvollständig kristalline viskose Schale, die Asthenosphäre genannt wird, und darunter eine wieder mehr kompetente halbkristalline Schale, die Sklerosphäre (siehe Tabelle I in VAN BEMMELEN, 1962).

Weil die Intensität und die Bedeutung der Ergebnisse der equilibrioturbalen Faktoren und der equilibriopetalen Prozesse mit der Zeit wechselt, lassen sich in der Erdevolution einige Hauptphasen unterscheiden, Bei dem Übergang der einen Phase in die andere verschwinden nicht bestimmte Prozesse, an deren Stelle andere treten; es ist nur so, daß einige Prozesse weniger, und andere mehr hervortreten.

Phase I

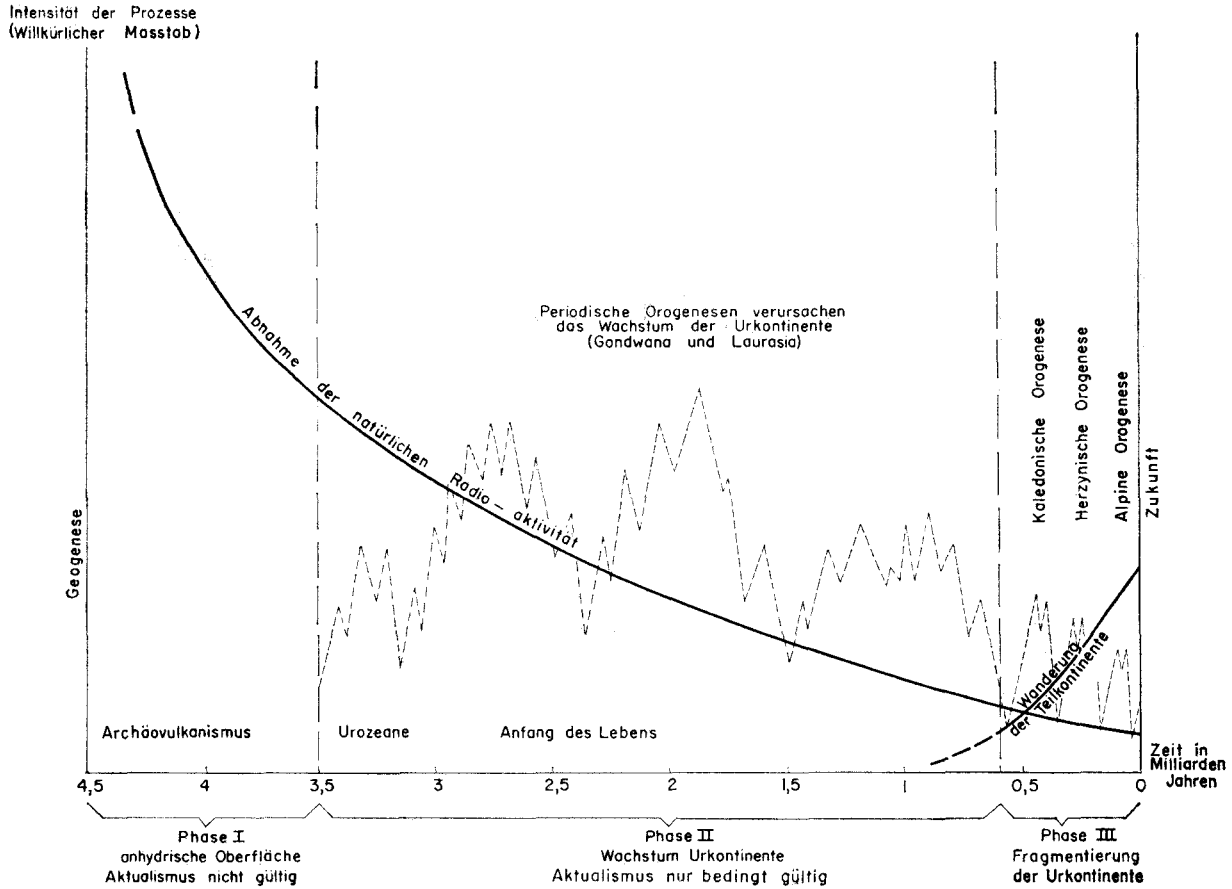
Am Anfang der Erdgeschichte war die radioaktive Wärmebildung der instabilen Isotopen viel größer als in der Gegenwart. Das verursachte eine Erwärmung unseres Planeten, begleitet von starker vulkanischer Aktivität (Archäo- oder Hypovulkanismus). Auch der equilibrioturbale Faktor (5) (Tabelle I) war wahrscheinlich größer als in der Gegenwart und eine Hydrosphäre war noch nicht gebildet.

Dieser Zustand, worin das Prinzip des Aktualismus noch keine Gültigkeit hatte, dauerte vielleicht etwa eine Milliarde Jahre.

Phase II

Dann trat eine Änderung ein, weil größere Flächen von Wasser überdeckt wurden, aus welchen die Anhäufungen der Eruptionsprodukte her-

Abb. 2: Schema der 3 Hauptphasen der Erdentwicklung



ausragten. Erosion und Sedimentation verursachten unter Einfluß von Faktor (4) der Tabelle I eine Zerlegung der Eruptiva in relativ kieselsäurereiche Tonmaterialien der Küsten- und Shelfgebiete und in gelöste Komponenten. Diese Sedimente werden in den Kreislauf des Vulkanismus wieder einbezogen und bilden Metamorphite sowie kieselsäurereiche Abarten der ursprünglich ziemlich uniform basischen Laven. Es bildeten sich so allmählich Kerne von sauren Metamorphiten und Vulkaniten, welche wegen ihrer relativ geringen Dichte als Kruste auf der basischeren Lavakruste schwimmen blieben. Auf diese Weise — begleitet von periodischen Orogenesen — wuchs eine saure Kruste um eine gewisse Zahl von Keimkernen.

Die lateralen Gegensätze zwischen urozeanischer Kruste und saurer Kruste blieben nicht auf den äußeren Teil der Rinde beschränkt. Die basischen Vulkanite wurden unter der Last der sauren Gesteine abwärts gedrängt bis der zunehmende Druck den Übergang in die eklogitische Phase verursachte. So wuchsen die Urkontinente nicht nur in Ausdehnungen mittels zonaler Anwachsstreifen, sondern auch nach der Tiefe.

Die lateralen Gegensätze in der chemischen Zusammensetzung zwischen dem peridotitischen Untergrund der Urozeane und dem eklogitischen Untergrund der Kontinente erreichten mehrere hundert Kilometer Tiefe.

Während dieser Phase verursachten Massenverlagerungen in dem unteren Mantel vielleicht schon Megaundatorische Verbiegungen der Erdoberfläche. Weil die Kruste damals noch aus mehreren kleineren Keimkontinenten bestand, wurde diese von den Mega-Undationen hauptsächlich nur verlagert, aber kaum zerbrochen. Gegen Ende des Präkambriums aber waren die Keimkontinente zu großen Einheiten zusammengewachsen, Laurasia und Gondwana *)

Die zweite Hauptphase der Erdentwicklung dauerte etwa 3 Milliarden Jahre.

Phase III

Die Megakontinente Gondwana und Laurasia wurden dann in nach-assyntischer („post-präkambrischer“) Zeit mehrfach in verschiedenen Gebieten durch Mega-Undationen aufgewölbt. Sie wurden dabei in Teilchollen zerbrochen, welche auseinandertrieben. Dieser Prozeß wurde von Plateaubasaltergüssen begleitet; z. B. waren die triadischen Parana- und Karroobasalte Begleiterscheinungen der Aufspaltung des südwestlichen

*) Stille betont, daß speziell im späten Präkambrium die assyntischen Faltungen eine Konsolidation der Zwischenräume zwischen den kontinentalen Keimkernen verursachten; z. B. die Zusammenfügung der südamerikanischen Urstücke Nordbrasilien, Südbrasilien und Patagonien bildete einen Teil des Gondwanalandes (Stille, 1958, Tafel III)

Teiles Gondwana's; die paläozänen Dekhan Trapps begleiteten die Aufspaltung Gondwana's im NW Bereich des Indiks; die oligozänen thulischen Basalte begleiteten die Aufspaltung Laurentia's im nördlichsten Teil des Atlantiks, usw. Das Wachstum der Kontinentkruste fand zwar noch weiter statt, während den großen orogenen Perioden (z. B. Kaledonisch, Herzynisch und Alpin), aber das Auseinandertreiben der Urkontinente in Bruchschollen gewann mehr und mehr an Einfluß. Das Bild der Tektogenese wird in der letzten halben Milliarde Jahre der Erdgeschichte vom Wandern der kontinentalen Bruchschollen beherrscht. Das Prinzip des Aktualismus ist nur in diesem dritten Hauptabschnitt der Erdgeschichte allgemein gültig. Und auch die Kettenreaktionen der Erdentwicklung nach der Undationstheorie, wie sie im Schlußkapitel analysiert werden, gelten nur für diese Phase.

Abb.2 Die drei Hauptphasen der Erdentwicklung

II. DIE GRUNDZÜGE DER UNDATIONSTHEORIE

1. Änderungen und Ausbau der Undationstheorie seit 1931

a) historische Entwicklung der Primärtektogenese

Durch meine Geländearbeiten in Indonesien war ich vor dem zweiten Weltkrieg speziell interessiert an den Mittelklassen der Primärtektogenese, den Meso- und Minor-Undationen mit den begleitenden sekundärtektogenetischen und vulkanischen Reaktionen. So waren das Toba-Gebiet und das Bukit Mapas — Pamatang Semoet Gebiet auf Sumatra (VAN BEMMELEN, 1929, 1931 a) und der Sunda Vulkankomplex nördlich Bandung auf Java (VAN BEMMELEN, 1934) gute Beispiele der Minorundationen in Verbindung mit Magma-Aufstieg. Die indonesischen Inselguirlanden mit ihren Nebensenkungen waren Beispiele der Meso-Undationen, welche die Äußerungen der orogenen Entwicklung im Bereich der viel breiteren geosynklinalen Tethyszone (Geo-Undation) bildeten.

Die Gedanken über die Entwicklung der Meso-Undationssysteme und die Wechselbeziehungen zwischen Magmatismus und Tektonik wurden damals mittels vieler Beispiele aus Java und Sumatra ausgebaut. Bei den Betrachtungen über die Verbindungen zwischen der regionalen und lokalen Tektonik und dem Vulkanismus einerseits und die Gravimetrie und Seismik andererseits brauchte diese synthetische Arbeitshypothese kaum tiefer zu gehen als die Mōho-diskontinuität (VAN BEMMELEN 1937). Sie beschränkte sich hauptsächlich auf der Tektonospäre im engeren Sinn.

Während des zweiten Weltkrieges besann ich mich auf die Verbindung der Erdevolution mit der Kosmogense (publiziert in VAN BEMMELEN,

1948). Nach dem Krieg wurde ich von der Regierung des damaligen Niederländisch-Indien beauftragt, die Geologie Indonesiens zu schreiben nach den Ergebnissen der Untersuchungen während eines Jahrhunderts des Niederland-Indonesischen geologischen Dienstes (1849 — 1949). Diese Arbeit (VAN BEMMELEN, 1949) gab mir die Gelegenheit, die Undationstheorie noch einmal an den geologischen und geophysischen Tatsachen dieses Gebietes der aktiven Gebirgsbildung zu prüfen und weiter zu präzisieren. Nachher verlegte ich meine Geländearbeiten nach den Ostalpen, deren Entwicklung ich nach den in Indonesien gewonnenen Ansichten deutete (VAN BEMMELEN, 1960 a und b).

Inzwischen machte die Geophysik rasche Fortschritte und neue geophysische Hilfsmethoden wurden entwickelt (Paläomagnetismus, künstliche Erdsatelliten). Die paläomagnetischen Untersuchungen begannen ihren Aufschwung, nachdem HOSPERS mit RUTTEN und mir in 1950 Island besuchte und dort nach Anregungen von NIEUWENKAMP und mir die Plateaubasalte paläomagnetisch untersuchte. HOSPERS bearbeitete sein isländisches Material dann in Cambridge, wo damals auch RUNCORN seine paläomagnetischen Studien begann. Die paläomagnetischen Untersuchungen wurden am geologischen Institut der Universität Utrecht unter der geophysikalischen Leitung von VELDKAMP und der geologischen Leitung von RUTTEN und mir aktiv weitergeführt. RUTTEN und VELDKAMP (1964) gaben eine Übersicht dieser paläomagnetischen Untersuchungen in Utrecht. In ihrer Literaturliste fehlen noch die Arbeiten von GUICHERT (1964), VAN HILTEN (1964) und DE BOER (1965).

Die Ergebnisse dieser seit 1950 bei uns und anderswo durchgeführten paläomagnetischen Untersuchungen unterstützen die Konzeption der Kontinentwanderungen. Diese mobilistische Theorie wurde vor einem halben Jahrhundert von TAYLOR und WEGENER aufgestellt, aber seitdem wegen dem Verdikt der Geophysiker fast allgemein wieder verlassen.

Auch ich hatte bis dahin versucht, die Tektogenese fixistisch zu erklären (z. B. Mountain Building, 1954). Aber die Anwendung der Undationstheorie auf das Karaibische Gebiet und die Gedanken bezüglich der geochemischen Kontrolle der Geodynamik (VAN BEMMELEN, 1956, 1958) zwangen mich schon weitgehend zu mehr mobilistischen Formulierungen; z. B. das Aufsteigen der venezolanischen Anden (Sierra de Merida), welche nach HOSPERS und VAN WIJNEN (1959) positive gravitative Anomalien aufzeigen, könnte nicht durch eine asthenolitische Gebirgswurzel erklärt werden, aber mußte die Folge sein eines tangentialen Schubes vom Guyana Kraton zum karaibischen Senkungsgebiet. (siehe Fig. 5 und S. 15 in VAN BEMMELEN 1958.)

Die paläomagnetische Stratigraphie, die DE BOER (1963) für die Vizentinischen Alpen aufstellen konnte und die von GUICHERIT (1964) bestätigt wurde, deutet klar auf großartige postherzynische Driftbewegungen hin. So zwangen die diagnostischen Tatsachen mich zu einem Ausbau der Undationstheorie, worin Fixismus und Mobilismus kombiniert wurden, die ich eine ‚relativistische‘ Auffassung der Tektonik nannte (VAN BEMMELEN, 1958, 1962, 1964 a und b).

Die geophysischen Ergebnisse der Erdsatelliten fangen an erst in jüngster Zeit den Geologen zur Verfügung zu stehen. (z. B. KAULA, 1963 a und b, RUNCORN, 1964). Sie bestätigen, daß wirklich große (‚geonominische‘) Deformationen der Rotationsellipsoide zur Geoide bestehen, welche ich Mega-Undationen nenne. Diese Mega-Undationen sind der Ausgangspunkt der geodynamischen Prozesse, welche in Tabelle IV schematisch in ihren genetischen Rangfolgen zusammengefaßt werden.

b) Historische Entwicklung der generellen Gravitatonstektonik

Wir Geländegeologen haben immer die Neigung, die Widerstandsfähigkeit der Gesteine gegen tektonische Deformationen zu überschätzen. Das kommt, weil wir gefühlsmäßig ausgehen von unseren anthropomorphen, Alltags- und Laboratoriumserfahrungen, bezüglich der Bearbeitung und Deformierung der Gesteine. Erst in letzter Zeit ist es technisch möglich, die Experimente auch bei höheren Temperatur- und Druckverhältnissen durchzuführen. Dazu kommt, daß uns auch die Zeit fehlte, tektonische Experimente mit dimensionierten Modellen durchzuführen. Es war dabei ja nötig, die Viskosität des Versuchsmateriales dermaßen herabzusetzen (etwa zu verdünnter Zahnpaste), daß man praktisch damit nicht mehr Modelle für die Experimente bauen konnte. Erst in jüngster Zeit hat RAMBERG (1963) diese Schwierigkeiten technisch gelöst durch Erhöhung des Faktors Schwerkraft mittels Zentrifugierung des Modelles.

Bis dahin wurden in den Modellversuchen nach den geläufigen Vorstellungen die Gesteine nur durch von außen angreifenden Kräften tektonisch deformiert. Man nahm immer wieder Zuflucht zu Vorstellungen von Drücken, Ziehen, Schleppen, usw. Man hatte kaum Verständnis dafür, daß jedes Partikel im Schwerkraftfelde der Erde eine eigene Energie der Lage hat, wodurch es unter geeigneten Umständen auch im Stande ist, auf eigener Faust sich ab- und seitwärts zu verlagern. Die relative Bedeutung der Energie der Lage für die Tektogenese nimmt zu mit den Dimensionen von Raum und Zeit, und wird speziell wichtig bei den übermenschlichen Dimensionen der geodynamischen Prozesse. Die Bedeutung der Energie der Lage für die Tektogenese wurde zwar von

verschiedenen Tektonikern schon im vorigen Jahrhundert geahnt (BOMBICI, 1882, REYER, 1888, SCHARDT, 1893, LUGEON, 1896). Aber ihre Erkenntnisse wurden überschattet durch den Aufmarsch der Deckenlehre seit dem Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts. Diese Erkenntnisse zwangen den — in Gesteinsmechanik und Modellversuchen weniger geübten — Geländegeologen, wieder zurückzugreifen nach ihren primitiven anthropomorphen Vorstellungen des Alltagslebens. Man bevorzugte allgemein die Vorstellungen tangentialer Schubkräfte (*Vis á tergo* von der Wurzel zur Deckenfront), der passiven Verfrachtungen oder der aktiven Schlepplungen mittels Friktionsreibungen an der Basis der Kruste, welche durch Unterströmungen ausgeübt wurden, und dergleichen. Daß ein Massenelement sich auch selbständig, wegen seiner eigenen Energie der Lage verlagern kann, und dadurch seine eigene Wegfähigkeit besitzt, wurde fast von niemandem erkannt. Aber HAARMANN (1930) und SCHMIDT (1932) sahen damals schon klar die Bedeutung der Gravitation für die tektonischen Bewegungen. Nur beschränkte HAARMANN seine Sekundärtektonogenese auf die Abschiebungen und Ableitungen der Sedimenthaut.

Meine Auffassung war vom Anfang an, daß die Schwerkrafttektonik nicht auf die Sedimenthaut beschränkt werden dürfte und daß man zu einer ‚generellen‘ Gravitationstektonik kommen sollte. Jedoch auch für mich war der Weg der Anwendung auf die geodynamischen Prozesse noch lange. Zuerst gingen meine Vorstellungen nicht tiefer als etwa die Moho-diskontinuität an der Basis der Erdkruste. Bei der Anwendung der generellen Gravitationstechnik auf die alpinotype Orogenese spielte die Bildung der relativ leichten magmatischen und migmatischen Gebirgswurzel (Asthenolithe) eine wichtige Rolle. Während und nach ihrer Emporhebung (durch „archimedische“ Kräfte) entstanden Ableitungen (Helvetische Decken), laterale Ausquetschungen der Asthenolithe (Penninische Decken) und Verfließungen des Dachgebietes (Ostalpine Decken) (VAN BEMMELEN, 1960, a und b). Bei der Analyse der Ostpazifischen Schwelle vermutete ich, daß bei dieser Mega-undatorischen Aufbeulung Lappen der Rinde über die Schmierbasis der Asthenosphäre abgleiten (fließen) konnten, wobei die großen Querstörungen vom Mendocino-Typus entstanden. Das wäre eine ‚aktive Gleitdrift‘. Aber für die Verlagerung der Kontinente vermutete ich noch eine ‚passive Schlepplungsdrift‘ als Folge der Strömungen im Innenmantel (VAN BEMMELEN, 1962, S. 230). Kurz nachher führte mich aber die Analyse der Kontinentwanderungen in Zusammenhang mit den Mega-Undationen zur Auffassung, daß auch in diesem Falle die Wanderungen der Stockwerke in der Tektonosphäre (*sensu largo*) alle die Folge waren ihrer eigenen Energie der Lage (VAN BEMMELEN, 1964 a und b, 1965). Die Analysen der Verteilung der Erdbebenherde

in normaler, intermediärer und großer Tiefe von K o n i n g (1952, 1953) und HARRINGTON (1963) lieferten wichtige diagnostische Tatsachen, welche dazu führten, die Arbeitshypothese der aktiven Gleitbewegungen bis zur Basis der Sklerosphäre (das heißt die Basis der Tektonosphäre *sensu largo*) auszubauen. Man kann hier, bei diesen Dimensionen, eigentlich nicht mehr sprechen von ‚Gleitbewegungen‘. Es sind mehr ‚Verfließungen‘ der Mega-Undationen, wobei die kompetenteren Stockwerke sich seitwärts verlagern über ihre viscosere Schmierbasis und wobei die höheren Etagen weiter seitwärts wandern als die tieferen. Auf diese Weise bin ich also nur Schritt um Schritt zu einer wirklich generellen Konzeption der Gravitationstektonik gekommen.

2. Die Primärtektogenese (Undationen)

Die Ursachen der Deformationen der Erdoberfläche sind Massenverlagerungen *) in der Tiefe. Je nach der Ausdehnung der Beulungen und Einmuldungen reichen auch diese Massenverlagerungen in größere Tiefen. In Tabelle II (S. 384) werden fünf Ordnungsgrößen der Undation der Erdoberfläche unterschieden.

Die M e g a - U n d a t i o n e n haben eine Lebensdauer von etwa hundert Millionen Jahren. Sie verlagern sich seit dem Präkambrium ziemlich unregelmäßig **) über die Erdoberfläche. Wenn sie unterhalb kontinentaler Bereiche aussteigen, werden sie begleitet von voluminösen Plateaubasaltergüssen (‚Flood Basalts‘ nach TYRREL), wie die Parana- und Karroo-Basalte beim Anfang der Zerreißung Gondwana’s.

Wenn die Megabeulungen in (Ur)ozeanischen Bereichen stattfinden, werden sie auch von Basaltergüssen begleitet. Nach dem Absterben der Megaundation sinken die Vulkaninseln langsam ab und bilden die Guyot’s und Atolle.

*) Es ist zur Zeit unter den Geologen und Geophysikern allgemein üblich, solche Strömungen und Massenkreisläufe „K o n v e k t i o n s s t r ö m u n g e n“ zu nennen. Man muß dabei aber realisieren, daß dieser Begriff der Konvektion dann anders angewendet wird als in der Physik. In der Physik versteht man unter Konvektionsströmungen nur die durch Temperaturunterschiede verursachten Kreisläufe, welche in chemisch isotropen Flüssigkeiten stattfinden; in der Geophysik deutet man damit auch an Massenverlagerungen (bzw. Kreisläufe), worin die chemische Zusammensetzung und der physikalische Zustand der Teilmassen sehr verschieden sein können. Sie werden nicht nur durch reversible Temperaturunterschiede verursacht, sondern auch (und wahrscheinlich in den meisten Fällen) durch zum Teil irreversible physikalisch-chemische Prozesse, welche die spezifische Dichte des Materielles beeinflussen.

**) Wenn darin eine Gesetzmäßigkeit besteht ist die jedenfalls noch nicht erkannt worden. In Tabelle III wird versucht, eine chronologische Ordnung zu geben. (Siehe auch van Bemmelen, 65.)

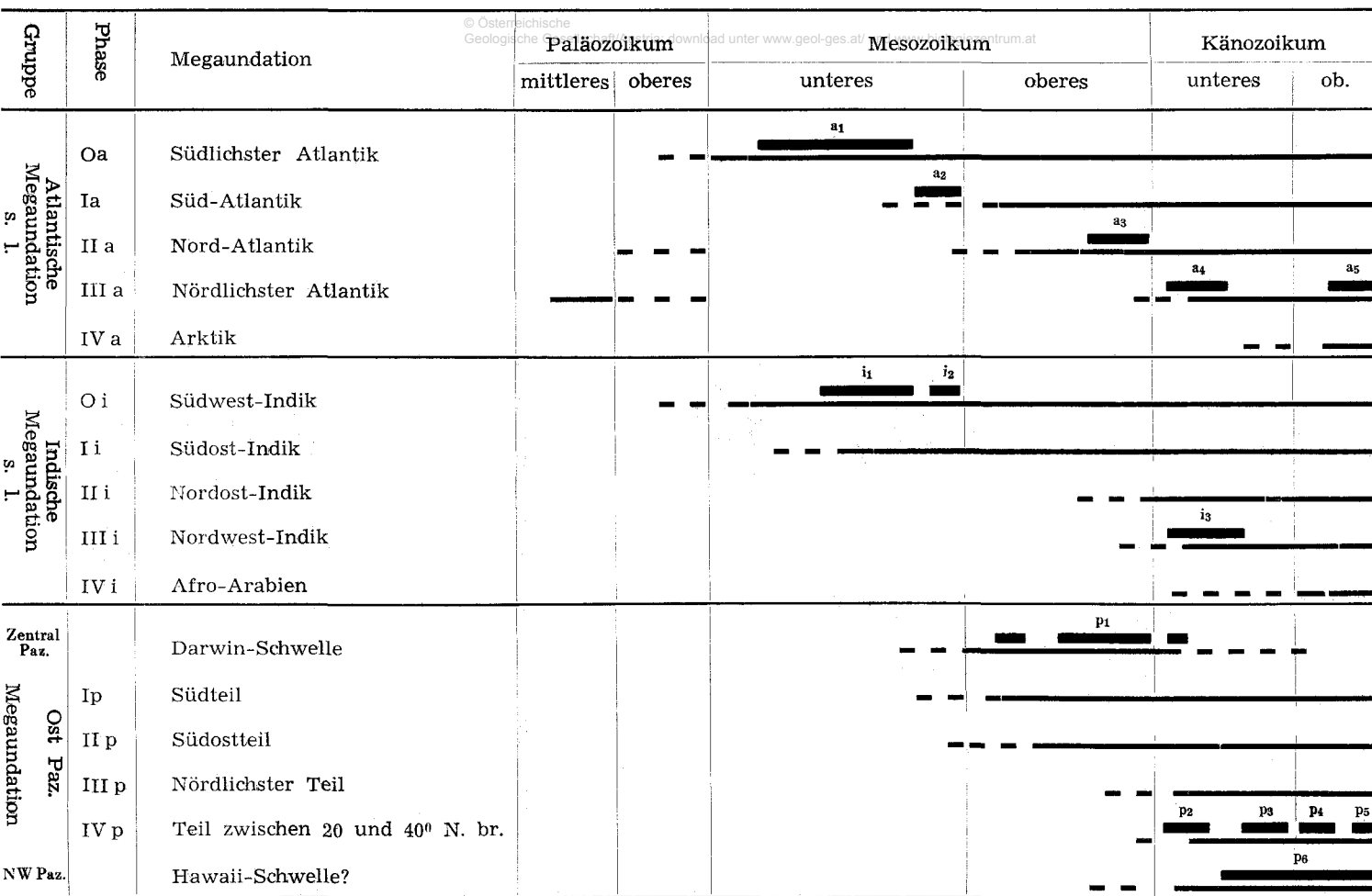


Tabelle III. — Provisorisches Schema der postkambrischen Megaundationen. (nach Van Bemmelen 1965)

- | | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| a ₁ Paraná Basalte | i ₁ Gondwana Basalte (Karoo usw.) | p ₂ Olympische Basalte |
| a ₂ Amazonas Basalte | i ₂ Lebombo Ignimbrite | p ₃ Kaskade Andesite |
| a ₃ Bermuda Geotumor | i ₃ Dekhan Basalte | p ₄ Kolumbia Basalte |
| a ₄ Basalte v. Thule | i ₄ Jüngere Riftbasalte | p ₅ „Great Basin“ Ignimbrite |
| a ₅ Jüngere Islandische Basalte | p ₁ Zentral Pazifische Basalte | p ₆ Hawaii Basalte |

Geo-Undationen

Die Geosynklinalen sind geo-undatorische Einmuldungen der Erdoberfläche. Sie sind die Geburtsstätte der Gebirgssysteme, welche die Anwachszonen der kontinentalen Kruste bilden. Ihre Bildung können zweierlei Ursachen haben.

Erstens, speziell in der zweiten Hauptphase der Erdrevolution (Abb. 2), senkte sich die Oberfläche isostatisch unter der Last der Shelvesedimente. Diese Belastung förderte den Phrasenübergang Gabbro→Eklogit im Mohobereich, wodurch die Absenkung noch mehr gefördert wurde. Nach einer Inkubationszeit von etwa 100—200 Millionen Jahren verursachte die Wärmezufuhr auf der Tiefe die Umkehr dieser Phasenreaktion unter Bildung von basaltischem Magma aus dem Eklogit. Der Aufstieg der ophiolithischen Sippe bedeutete das Ende der geosynklinalen Phase und den Anfang des Orogenen Zyklus, wobei die Sedimente metamorphosiert, migmatisiert, granitisiert und/oder deformiert werden. Zweitens (speziell in der dritten Hauptphase der Erdrevolution) ist es möglich, daß die Phasenreaktion Gabbro→Eklogit gefördert wird durch das Wandern der Kontinentschollen, wobei an der Luvseite die Abbremsung der Wanderung eine Drucksteigerung verursacht. Beide Arten der Geosynklinalbildung werden auf die Dauer von Orogenesen beendet.

Meso-Undationen

Diese Orogenesen werden gekennzeichnet durch Hebungsimpulse im Bereich der Geosynklinalen. Das aufsteigende Magma der ophiolithischen Sippe hat durch ihre Wärmezufuhr an verschiedenen Stellen Anhäufungen („Blasen“) von palingenem Magma an der Unterseite der sauren Kruste gebildet, die primären Asthenolithe. Diese werden schließlich durch die archimedischen Kräfte emporgedrückt und bilden Aufwölbungen und Emergenzen der Geosynklinalböden. Dies sind die meso-undatorischen orogenen Störungszentren, welche von Randsenken volumetrisch kompensiert werden (wie die Randsynklinen der Salzdiapire in kleinerem Maßstab).

Nach einer Inkubationszeit von einigen Dutzend Millionen Jahren haben sich unter diesen Randsenken auch magmatische Blasen (sekundäre Asthenolithe) entwickelt, was zu ihrer Emporhebung führt. So können sich im Bereich der Geosynklinale Meso-Undationszyklen entwickeln, welche von bestimmten Störungszentren ausgehen und sich schrittweise lateral ausdehnen. Dabei kann man verschiedene Reifestadien der Zyklen unterscheiden (embryonal, jung, frühreif und reif). Das embryonale Stadium wird speziell von der ophiolithischen Magmasippe begleitet, das

junge von der Pazifischen (kalk-alkalischen) Sippe, das frühreife von der mediterranen (kalireichen) Sippe und das reife Stadium zeigt wieder tiefgehende Bruchtektonik mit Plateaubasaltergüssen.

Minor-Undationen

Apophysen der Asthenolithe, die in der Kruste aufsteigen (und auch batholithische oder laccolitische Intrusion in der Kruste außerhalb der orogenen Gebiete) bilden kleinere Dome. Die begleitende vulkanische Aktivität kann Kalderen und andere vulkano-tektonische Erscheinungen verursachen.

Lokal-Undationen

Noch oberflächlicher und beschränkter in Ausdehnung sind die Dome und ihre begleitenden Randsynklinen, welche verursacht werden durch Diapirismus von Salzablagerungen (Halokinese) und auch von anderen Sedimenten, die wegen ihrer Plastizität von relativ schweren auflastenden Massen ausgequetscht werden (z. B. die laterale Diapire welche ENGELEN, 1963, von den NW Dolomiten beschreibt).

3. Die Sekundärtektogenese (generelle Schwerkraft-tektonik)

Es wurde im ersten Kapitel betont, daß im megaskopischen Bereich allgemein die Massenkraft der Gravitation wirkt. Die geodynamischen Prozesse sind allein die Folge von Störungen des gravitativen Gleichgewichtes. Sie streben nach der Wiederherstellung dieses Gleichgewichtes und sind deshalb equilibriopetale Prozesse. Wenn diese equilibriopetale Massenverlagerungen in der Tiefe stattfinden, sind sie quasi-synchrone Platzaustauschbewegungen wegen der geringen Kompressibilität des Materiales. Wenn aber ein Ausweg zur Oberfläche gefunden wird, bilden sich die Undationen der Erdoberfläche. Wegen den physikalischen Eigenschaften der Gesteine können diese Undationen bestimmte Dimensionen erreichen. Diese Ausmaße hängen ab von den Dimensionen der Auf- und Abbewegungen einerseits und der Widerstandsfähigkeit der Gesteinsserien andererseits. Es besteht eine gewisse Verzögerungszeit zwischen dem Aufbau der Energie der Lage durch Primärtektogenese und ihr Abbau durch den Prozeß der dispersen Erosion — Sedimentation oder der nicht-dispersen Sekundärtektogenese.

Je nach den Ausmaßen der Undationen kann man auch verschiedene Größenordnungen der Sekundärtektogenese unterscheiden. Das Verfließen der Mega-Undationen verursacht das Abtreiben von Kontinenten und die Bildung von Neu-Ozeanen mit medianen Riftzonen.

Die geosynklinalen Absenkungszonen werden hauptsächlich begleitet von sedimentärer Ausfüllung. Die meso-undatorischen Deformationen in

den geosynklinalen Zonen werden begleitet von Deckenbildungen in den verschiedenen Stockwerken der Außenrinde (Epidermis, Mesodermis, Bathydermis).

Die Minor-Undationen können neben Erosion-Sedimentation noch Abgleitungen und Faltungen in der Sedimenthaut verursachen; aber die Lokal-Undationen sind im allgemeinen nur imstande, ganz oberflächennahe Reaktionen der Sekundärtektogenese zu verursachen, und werden sonst nur durch disperse Erosion-Sedimentation abgebaut.

III. SCHEMA DER KETTENREAKTIONEN DER ERDENTWICKLUNG

Nach der Skizze im zweiten Kapitel der historischen Entwicklung und des gegenwärtigen Standes der Undationstheorie kann jetzt versucht werden, diese Konzeption der Geodynamik in einer Übersichtstabelle zusammenzufassen (Tabelle IV).

Die Primär- und Sekundärtektogenese sind in der rechten Spalte der Tabelle IV untergebracht, weil beide zu den geodynamischen Prozessen gehören, welche nach gravitativem Gleichgewicht streben („Geodynamik“). Die Massenverlagerungen in der Tiefe, welche die undatorischen Verbiegungen der Erdoberfläche verursachen, sind quasisynchron wegen der InkompRESSIBILITÄT des Materiales. Wo aber die Massenverlagerungen in der Tiefe sich als differentielle vertikale Bewegungen der Oberfläche auswirken, besteht eine Ausweich- und Verzögerungsmöglichkeit im Kreislauf. Die Abgleitungen und Verfließungen, welche den Massenkreislauf schließen, können nach einem Zeitintervall, als eine Art Relaxation der angehäuften Energie der Lage auftreten. Dieses Nachhinken der oberflächennahen Verfließungen ergibt, daß man bei diesen gravitativen geodynamischen Prozessen Unterschied machen kann zwischen Primär- und Sekundärtektogenese.

In der linken Spalte der Tabelle IV stehen die Prozesse, welche nach physikalisch-chemischem Gleichgewicht streben und welche unter dem allgemeinen Begriff der ‚Geochemik‘ zusammengefaßt werden könnten.

In der mittleren Spalte stehen die gleichgewichtstörenden equilibrioturbalen Wirkungen, welche die equilibriopetalen Prozesse der Geochemik auf das gravitative Gleichgewicht und die Prozesse oder Geodynamik auf das physikalisch-chemische Gleichgewicht ausüben.

Durch diese equilibrioturbalen Wechselwirkungen entstehen Kettenreaktionen, wobei die endogene freie Energie (siehe Ausgangsprozesse links oben) sich von innen nach der Oberfläche hinaufwirkt und schließlich als Wärme geringer Intensität ins Weltall ausgestrahlt wird.

IV. SCHRIFTTUM:

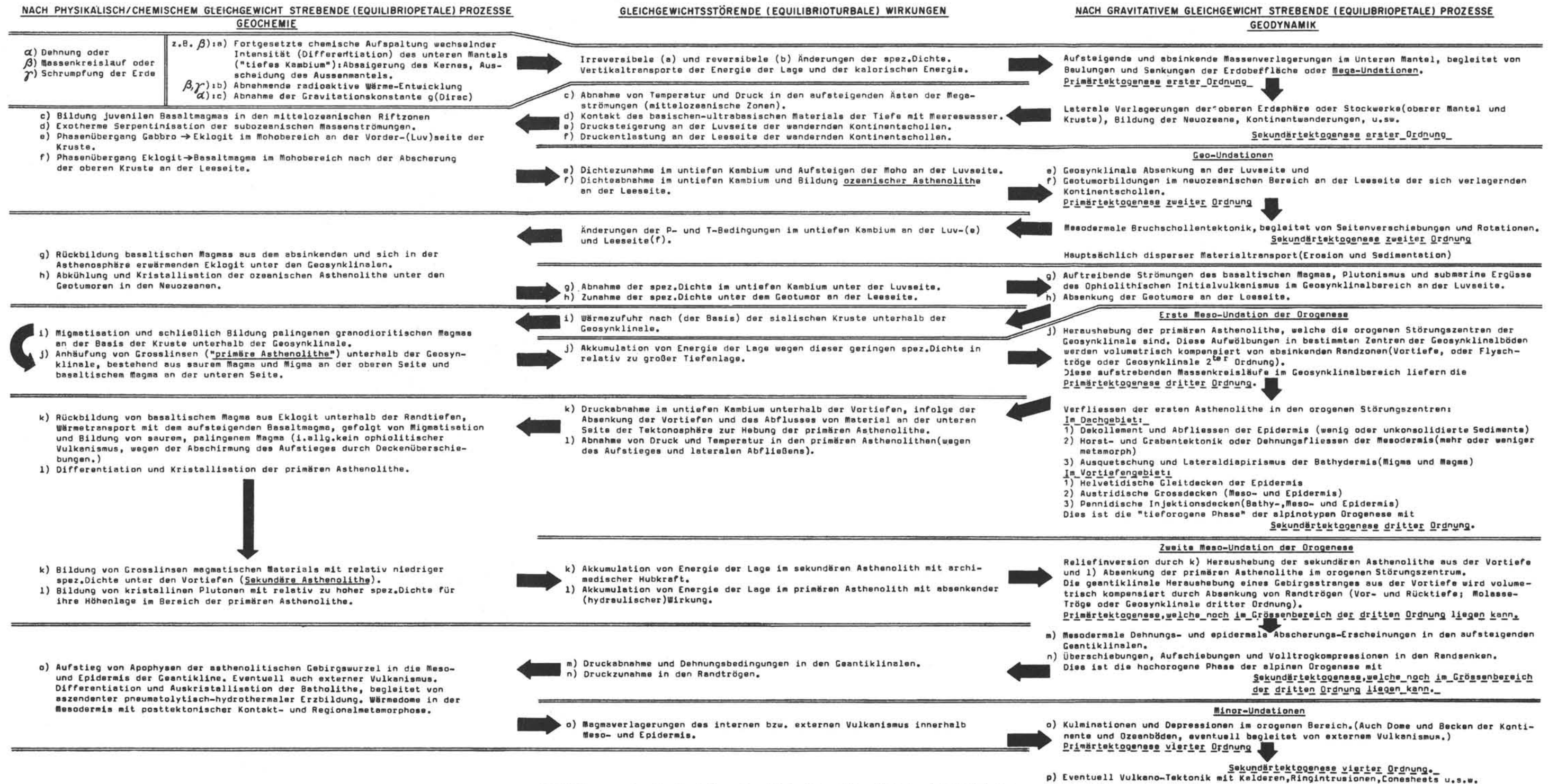
- Bemmelen, R. W. van. 1929. The origin of Lake Toba (North Sumatra). Proc. IV Pac. Sci. Congr. Bandung 1929, **2A**, 115.—124.
- 1931 a. Het Boekit Mapas — Pematang Semoet Vulkanisme (Zuid Sumatra). Verh. Geol. Mijnb. Gen. Nederland en Kolonien, Geol. Serie, **9**, 2, 57—76.
- 1931 b. Magma- und Krustenundationen. Handelingen VI Ned. Indisch Natuurwetenschappelijk Congres, Bandung, 1931, 645—653.
- 1931 c. De bicausaliteit der bodembewegingen (Undatie en Glijding). (English summary). Natuurkundig Tijdschrift, Ned. Indië, **91**, 3, 363—413.
- 1932. De Undatie-theorie (hare afleiding en toepassing op het westelijk deel van den Soendaboog). (English summary). Natuurk. Tijdschr. Ned. Indië, **92**, 1, 85—242 & **92**, 2, 373—402.
- 1933. The Undation theory of the Development of the Earth's Crust. Proc. XVI. Int. Geol. Congr. Washington 1933, **2**, 965—982 (1935).
- 1934. Ein Beispiel für Sekundärtektogenese auf Java. Geol. Rdsch., **25**, 3, 175—194.
- 1937. De isostatische Anomalien in den Indischen Archipel. De Ing. in Ned. Indië, **4**, 2, Sect. IV, 9—29.
- 1948. Cosmogony and Geochemistry. Rep. XVIII Int. Geol. Congr. London 1948, **2**, 9—21.
- 1949. The Geology of Indonesia. Vol. IA General Geology, Vol. II Economic Geology. Staatsdrukkerij/Nijhoff, Den Haag, 732 + 265 S.
- 1954. Mountain Building. Nijhoff, Den Haag, 177 S.
- 1956. The geochemical control of tectonic activity. Geol. & Mijnb., N. S., **18**, 4, 131—144.
- 1958. Stromingsstelsels in de silicaatmantel. Geol. & Mijnb., N. S., **20**, 1, 1—17.
- 1959. Die Methode in der Geologie. Mitt. Geol. Ges. Wien, **53**, (1960), 35-52.
- 1960 a. New Views on East-Alpine Orogenesis. Rep. XXI Int. Geol. Congr. Copenhagen 1960, **18**, 99—116.
- 1960 b. Zur Mechanik der ostalpinen Deckenbildung. Geol. Rdsch., **50**, 474—499.
- 1961. The scientific character of geology. J. of Geol., **69**, 4, 453—463.
- 1962. Geotektonische Stockwerke (Eine relativistische Hypothese der Geotektonik). Mitt. Geol. Ges. Wien, **55**, (1963), 209—232.
- 1964 a. I Phénomènes géodynamiques à l'échelle du Globe (la géonomie). II. Phénomènes géodynamiques à l'échelle de l'écorce (la géotectonique). III. Phénomènes géodynamiques à l'échelle de l'orogénèse (la tectonique). Mém. Soc. belge de Géol. Pal. Hydr., **8**, 126 S.
- 1964 b. A Cross-section from the Atlantic to the Pacific along 37° N lat. (Appendix to the note of G. B. Engelen 1964). Tectonophysics, **1**, 1, 95—96.
- 1965. The evolution of the Atlantic Mega-Undation (causing the American Continental Drift). Tectonophysics, **1**, 5, 385—430.
- Boer, J. de 1963. The geology of the Vicentinian Alps (N. Traly) with special reference to their paleomagnetic history. Doktorarbeit, Utrecht. Geol. Ultraiectina, no. 11.
- 1965. Paleomagnetic indications of megatectonic movements in the Tethys. J. Geophys. Res. **70**, 4, 931—944.
- Bombicci, L., 1882. Il sollevamento dell'Appennino bolognese per diretta azione della gravità e delle pressioni laterali, con appendice sulle origini e sui reiterati trabocchi delle argille scagliose. Mem. Accad. Sci. Ist. Bologna, S. IV, 3, S. 641.
- Eskola, P., 1951. Around Pitkäranta. Ann. Ac. Sci. Fenincae. s. A, III, no. 27.
- 1962. A discussion of domes and granites and ores. C. R. Soc. Geol. Finlande, **25**, 125—144.
- Engelen, G. B., 1963. Gravity tectonics in the NW Dolomites (N. Italy) Doktorarbeit, Utrecht. Geologica Ultraiectina, no. 13.
- 1964. A hypothesis on the origin of the Bermuda Rise. Tectonophysics **1**, 1, 85—93.

- Guicherit, R., 1964. Gravity tectonics, gravity field, and paleomagnetism in NE-Italy (With special reference to the Carnian Alps). Doktorarbeit, Utrecht, *Geologica Ultrajectina*, no. 14.
- Haarmann, E., 1930. Die Oszillationstheorie. F. Enke, Stuttgart, 260 S.
- 1931. Bemerkungen zur Aussprache über die Oszillationstheorie. *Z. D. Geol. Ges.*, **83**, 368—388.
- Harrington, H. J., 1963. Deep focus earthquakes in South America and their possible relation to continental drift. A. C. Munyan: Polar wandering and continental Drift. *Soc. Econ. Paleont. Miner., Spec. Bull.* **10**, 55-73.
- Hilten, D. van. 1964. Evaluation of some geotectonic Hypotheses, *Tectonophysics*, **1**, 1, 3—71.
- Hospers, J. & J. C. van Wijnen. 1959. The gravity field of the Venezuelan Andes and adjacent basins. *Verh. Kon. Nederlandse Akad. Wetensch., afd. Natuurk., s. I*, **23**, no. 1
- Kaula, W. M., 1963 a. Tesseral harmonics of the gravitational field and geodetic datum shifts derived from camera observations of satellites. *J. Geoph. Research*, **68**, 473—484.
- 1963 b. Determination of the earth's gravitational field. *Rev. Geophys.* **1**, 507—551.
- Koning, L. P. G., 1952-53. Earthquakes in relation to their geographical distribution and focal depth. *Proc. Kon. Ned. Akad. Wet., Amsterdam, Series B.* **55**, 1952, no. 1: 60—77; no. 2: 174—193; no. 3: 194—206; no. 4: 263—292; & **56**, 1952, 301—302 (no. 5).
- 1953. Summarizing considerations on the distribution of earthquakes in relation to their magnitude and focal depth. *Geol. & Mijnb., N. S.*, **15**, 271—276.
- Lugeon, M., 1896. La région de la Brèche du Chablais (Haute Savoie). *Bull. Serv. Carte géol. France*, **7**, no. 49.
- Ramberg, H., 1963. Experimental Study of Gravity Tectonics by means of Centrifuged Models. *Bull. Geol. Inst. Uppsala*, **62**, 97 S.
- Runcorn, S. K., 1964. Satellite gravity measurements and a laminar viscous flow model of the earth's mantle. *J. Geoph. Research*, **69**, 20, 4389—4394.
- Reyer, E., 1888. *Theoretische Geologie*. Schweizerbart, Stuttgart, 867 S.
- Rutten, M. G. & J. Veldkamp, 1964. Paleomagnetic research in the Netherlands. *Geol. & Mijnb.*, **43**, 5, 183—195.
- Schardt, H., 1893. Sur l'origine des Pré-alpes romandes (Zône du Chablais et du Stockhorn). *Eclogae geol. Helvetiae*, **4**, 129—142.
- Schmidt, W., 1932. *Tektonik und Verformungslehre*. Borntraeger, Berlin, 206 S.
- Stille, H., 1958. Die assyntische Tektonik im geologischen Erdbild. *Beitr. Geol. Jb., Heft 22*, 225 S.
- Trusheim, F., 1960. Mechanism of salt migration in Northern Germany. *Bull. Am. Ass. Petr. Geol.*, **44**, 9, 1529—1540.
- Zeitschrift der Deutschen Geol. Ges.*, **83**, 5, 1931. Aussprache über neuere Gebirgsbildungstheorien, insbesondere Haarmann's Oszillationstheorie.

Bei der Schriftleitung eingegangen am 15. Dezember 1964.

SCHEMA DER KETTENREAKTION ERDENTWICKLUNG

Tabella IV



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Austrian Journal of Earth Sciences](#)

Jahr/Year: 1964

Band/Volume: [57](#)

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

Artikel/Article: [Der gegenwärtige Stand der Undationstheorie. 379-399](#)