

KRITIK ZUR PLATTENTEKTONIK<sup>1)</sup>R.W. VAN BEMMELEN<sup>2)</sup>

## ZUSAMMENFASSUNG

Wenn man ein allgemein gültiges Modell der Erdgeschichte entwerfen will, sollten neben der geodynamischen Entwicklung auch die geochemischen Prozesse mit in Betracht genommen werden. Der anthropomorphe Fachjargon der Plattentektoniker wirkt hemmend in dieser Hinsicht. Die Antriebskräfte der geodynamischen Entwicklung werden all zu sehr auf mechanischen Aspekten beschränkt, statt auch die physikalisch-chemischen mit in Erwägung zu nehmen.

## SUMMARY

For an all-round interpretation of the Earth's history geodynamic as well as geochemical processes should be taken into account. The anthropomorphic character of the jargon used by plate-tectonicists is an impediment to achieve this aim. The driving forces of the geodynamic evolution as viewed by the current model of plate tectonics are too much restricted to mechanical processes, whereas their intertwining with physico-chemical processes should also be realized.

DIE EINGLIEDERUNG DER GEOCHEMIE  
IN DIE PLATTENTEKTONIK

Die Erdwissenschaften haben einen Beobachtungsbereich von  $10^{-6}$  cm (Kolloiden) bis ca.  $10^{+11}$  cm (Mondabstand). Sie befinden sich zwischen dem Mikrobereich der Stoffkunde ( $10^{-13}$  cm bis  $10^{-6}$  cm) und dem Makrobereich der Sternkunde (bis  $\pm 10^{+28}$  cm der Abstand der Quasare). Persönlich möchte ich die Erdwissenschaften Erdkunde oder Geonomie nennen, in Analogie zu dem Begriff Sternkunde oder Astronomie. Wie Einstein zwischen einer generellen und einer speziellen Relativitätstheorie des Weltalls unterschied, so könnte man auch von einer generellen und einer speziellen Geonomie sprechen.

Die generelle Geonomie befasst sich nicht nur mit der Erde sondern auch mit der Entstehungsgeschichte unseres Planetensystems, der Kosmogonie. Man denke sich einen

räumlichen Tetraeder, dessen Eckpunkte von Geologie, Geophysik, Geochemie und den Ergebnissen der modernen Raumfahrtforschungen gebildet werden. Das ist der kosmogonische Tetraeder der Geonomie sensu lato.

Die spezielle Geonomie studiert nur die Erde. Ihre Eckpunkte sind Geologie, Geophysik und Geochemie, welche zusammen das obere Dreieck des Tetraeders der Geonomie sensu lato bilden. Das ist also das terrestrische Dreieck der Geonomie sensu stricto.

In den letzten Dezennien sind revolutionäre Fortschritte gemacht worden im Bereich der Basislinie dieses Dreiecks. Die Geologie entwickelte ein neues Spezialfach, nämlich die paläomagnetischen Untersuchungen, womit man im Stande war, die Idee der Krustenverlagerungen zu prüfen, und diese zu beweisen ("continental drift", "sea-floor spreading"). Die Geophysik machte speziell in der Seismik gewaltige Fortschritte, mittels besserer Beobachtungs- und Deutungstechniken. Mit Hilfe der Erdbebenwellen konnte man die Erde bis ins tiefste Innere sozusagen "durchleuchten", beschreiben und deuten.

Dazu kamen die neuen Techniken für die Untersuchung der Meeresböden, welche ungefähr 70% der Erdoberfläche bilden. So gewann man ganz neue Einsichten bezüglich der kontinentalen und der ozeanischen Erdkruste, ihrer Veränderungen (Transformationen) und Verlagerungen (Deformationen, Translationen).

Diese stürmische Entwicklung gipfelte in einem fast allgemein anerkannten Denkmuster von Tatsachen und Annahmen, das man "das neue Modell der Erdtektonik" nennt ("new global tectonics"), oder auch "Plattentektonik".

Dieses Modell gibt ein vereinfachtes Bild der Erdkruste, welche in eine beschränkte Anzahl von steifen (rigiden) lithosphärischen Schalen geteilt wird, welche ungefähr 100 km mächtig sind und mehrere tausend Kilometer Durchmesser besitzen. Diese Schalen verlagern sich wechselseitig. Sie werden umrahmt von drei verschiedenartigen Grenztypen: 1) Konstruktive Grenzen werden von einem fast erdumfassenden Spaltensystem gebildet, wo basaltische Magmen emporquellen und neue ozeanische Kruste bilden, 2) destruktive Grenzen findet man dort, wo die Platten zusammenstossen, wobei die ozeanische Kruste an tiefen Rinnen entlang abtaucht ("Subduktion") und wieder vom Erdmantel kon-

<sup>1)</sup> Vortrag Geol. Inst. der Univ. Bern und Schweiz. Naturf. Ges. Bern am 22. Okt. 1974.

<sup>2)</sup> ADRESSE: Wassenaarseweg 142, Den Haag, Niederlande.

Die zentrale Stelle der Geonomie in den Naturwissenschaften.

Fig. 1

<p>Fluktuationen des elektromagnetischen Feldes sind überwiegend</p> <p>Das <i>Infra-gebiet</i> der <i>Meta-physik</i>.</p>	<p><math>10^{-13}</math> cm ← Der Mensch: etwa <math>1,7 \times 10^{+2}</math> cm → ca <math>10^{+28}</math> cm</p> <p>kritische Planck Länge. Das vom Mensch beobachtbare Gebiet der Naturwissenschaften. Am weitesten entfernte Objekte (Quasars)</p>		<p>Möglichkeit anderer Wahrscheinlichkeiten im "Superraum" (Wheeler, 1968)</p> <p>Das <i>Ultra-gebiet</i> der <i>Meta-physik</i>.</p>	
	<p>Stoffkunde (Physikalische Chemie)</p> <p>Kernphysik, Physik, Chemie</p>	<p>Erdkunde (Geonomie)</p> <p>Kolloide <math>10^{-6}</math> cm Abstand Mond <math>10^{+11}</math> cm</p> <p>Geologie, Geophysik, Geochemie, Mondkunde (oder "Selenologie")</p>		<p>Sternkunde (Astronomie).</p> <p>Kosmogonie, Astrophysik</p>
	<p>Das elektromagnetische Feld verursacht Wechselbeziehungen zwischen den kleinsten Partikelchen der Materie (Das <i>Mikro-bereich</i>)</p>	<p>Geonomische Evolution durch Verflechtungen der Reaktionsketten des Mikro- und Makro-bereichs</p> <p>Geo-thermo-dynamik ↔ } Geo-rheo-dynamik</p>		<p>Interne und externe Wechselbeziehungen zwischen kosmischen Einheiten durch Trägheitskräfte (Einstein, 1915) (Das <i>Makro-bereich</i>)</p>

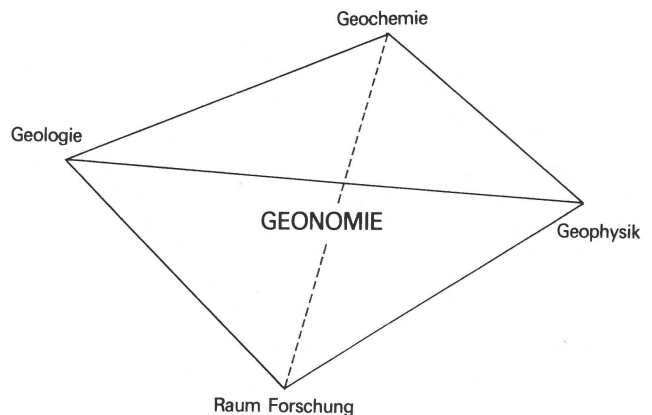
sumiert wird, 3) konservative Grenzen sind jene, wo die Platten aneinander vorbei schieben und grosse Seitenverschiebungen stattfinden.

Die Plattentektonik ist hauptsächlich ein Modell der Massenverlagerungen in der Erdkruste und im oberen Erdmantel. Es ist ein geomechanisches Modell. Der Antriebsmechanismus wird in Konvektionsströmungen im Erdmantel gesucht, welche die darauf schwimmenden lithosphärischen Platten mitschleppen. Die geochemischen Aspekte der Erdentwicklung sind in diesem Modell nur Nebensache.

Für ein wirklich allgemeines Modell der Erdgeschichte ist jedoch eine völlige Integration und Harmonisierung der geochemischen Entwicklung mit der geodynamischen Geschichte notwendig. Dann kommen auch die Probleme der geochemischen Ursachen und Folgen dieser geomechanischen Entwicklung ins Blickfeld.

Die Frage der Herkunft von Magmen (Vulkanologie und Petrologie), die Folgen der Neubildung und der Verdauung der Kruste bei zyklischen Prozessen, die Frage warum die Erde zwei Arten von Kruste hat (kontinentale und ozeanische), während der Mond nur eine Art Kruste besitzt, und viele anderen geochemischen Probleme sollen im Rahmen der Geonomie studiert und beantwortet werden.

Fig. 2  
Der kosmogonische Tetraeder der Geonomie sensu lato.



Es ist zu erwarten, dass die Harmonisierung der Plattentektonik mit der Geochemie zu fundamentalen Aenderungen dieses neuen Modells der Erdtektonik führen wird (v a n B e m m e l e n, 1975 a und b).

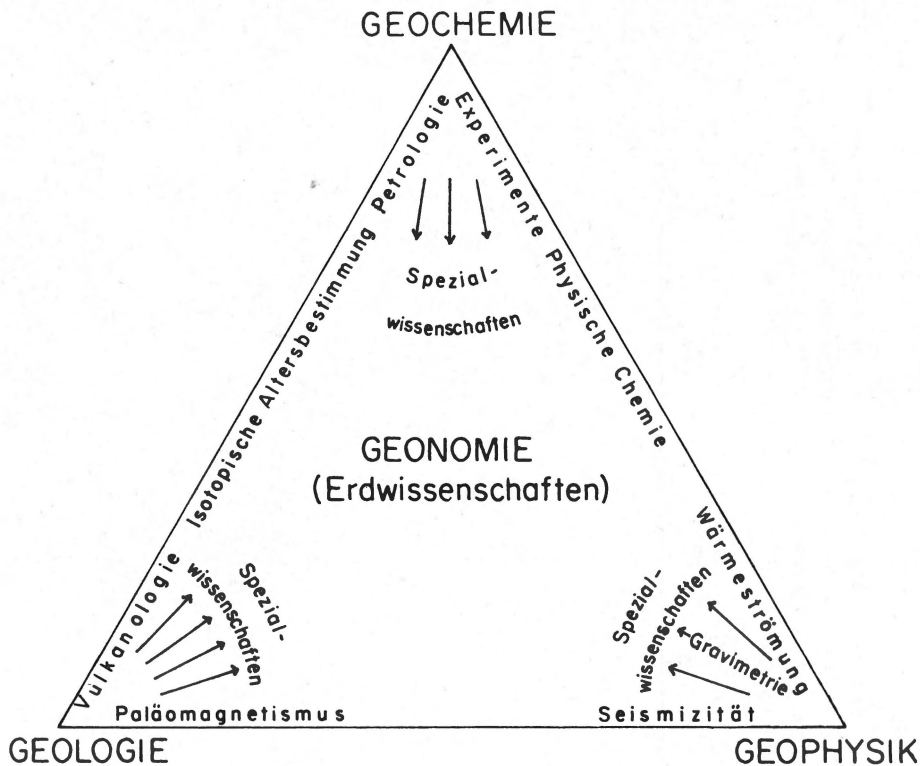


Fig. 3  
Das terrestrische Dreieck der Geonomie sensu stricto.

### DER JARGON DER PLATTENTEKTONIK

Der Gebrauch einer Fachjargons ist eine Schwierigkeit die allen wissenschaftlichen Denkprozessen inhärent ist.

Gegenwärtig vergrößern sich leider die sprachlichen Gegensätze auch innerhalb der Erdkunde, so dass Anhänger verschiedener Denkmodelle einander kaum mehr verstehen können. Das ist nicht verwunderlich, wenn man sieht, wie die Zahl der Fachausdrücke der Geonomie sich in dem "Glossary" des amerikanischen geologischen Institutes vermehrt hat von 18000 in 1960 bis 33000 in 1973. Das ist viel mehr als die Zahl der Wörter, welche in einer Umgangssprache normalerweise benützt werden.

Eine Diskussion über die "New Global Tectonics" im Bulletin des amerikanischen Vereins der Petroleumgeologen zwischen Mantura und Dietz beendete der erste mit den Worten: "Man kann die Wirklichkeit nicht endlos durch Theorien, oder Beobachtungen durch widersprechende Behauptungen ersetzen. Ach kann man nicht nur das, was das Auge sehen möchte, verwenden unter Missachtung dessen, was sich dem Auge darbietet." ("One cannot endlessly replace reality by theory, or observation by a contradictory statement. Nor can one utilize only what the eye might like to contemplate at the disrespect of what the eye offers." A.A.P.G. Bull., 1973, S. 2457).

Der Mensch neigt immer dazu, sich selber zentral zu

stellen in das Weltbild, das er aufbaut, auf Grund der Daten, die seine Sinnesorgane ihm als Beobachtungen verschaffen. Die Techniker drücken, ziehen, schneiden, hobeln und biegen auf Mass das Material ihrer Konstruktionen, oder sie mischen, erhitzen, transformieren und kühlen die Bestandteile in der Küche der Technologie. Die dabei gebildeten anthropozentrischen Begriffe werden in Worten und Namen auskristallisiert, die der Erdwissenschaftler auch in seiner Fachsprache gebrauchen möchte.

Brown (1974) betont, dass solche Einflüsse des täglichen Lebens manchmal mittels anthropomorpher Projektionen massgebend sind für unsere geologischen Betrachtungen. So spricht man von Verschleppung ("Drag") der Lithosphäre mittels der "Transportbänder" der Konvektionsströme an ihrer Basis; man lässt Kontinente aneinander prallen ("Collisions"); man hobelt Splitter ("Flakes") der Kruste ab; man nennt den Prozess der Auf- und Uberschiebung dieser Splitter "Obduction" (Ostalpine Deckenbildung, z.B.); und man spricht von Verschluckung der Lithosphäre ("Subduction").

Man sollte sich aber davor hüten, dass diese Benützung der Begriffe des Technikers für irdische Prozesse, mit ihren ganz anderen Maszstäben der Länge und Zeit, nicht eine Art der Autosuggestion verursachen, welche die geologische Realität verschleiert.

Wenn Krustenteile absinken oder aufsteigen (differenzielle Vertikalbewegungen) spricht der Plattentektoniker direkt

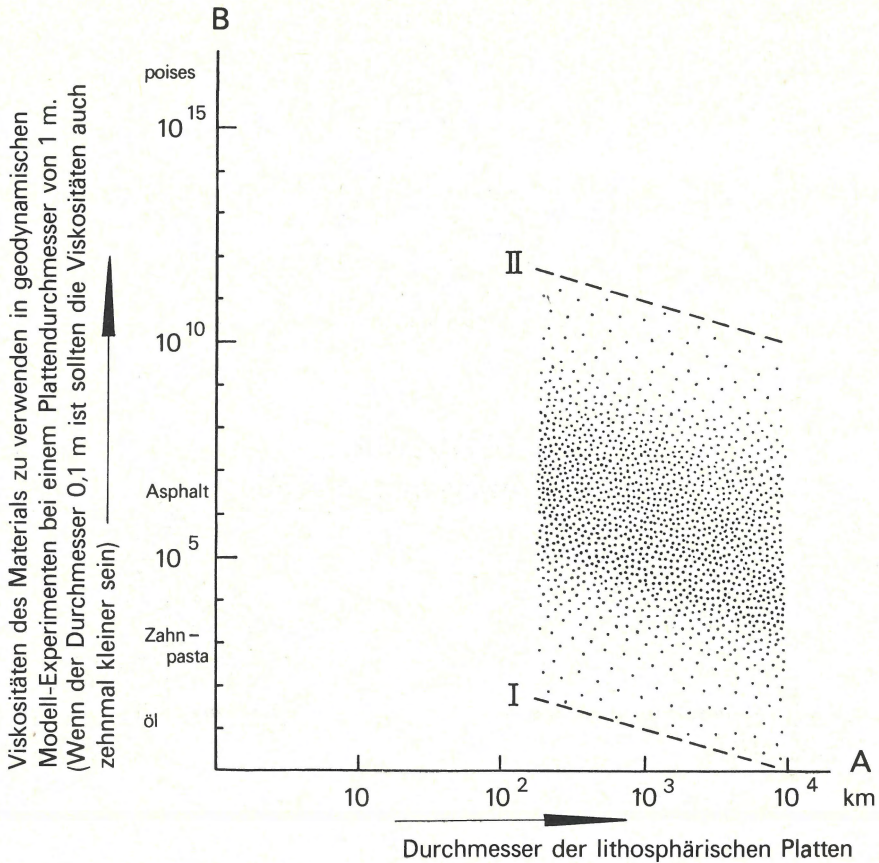


Fig. 4

Vergleich zwischen den Viskositäten der natürlichen Gesteine, die in lithosphärischen Platten mit Meso- bis Mega-Durchmesser (Hunderte bis Tausende Kilometer) einerseits vorkommen, und den Viskositäten des Materials, das man bei Laboratoriumsversuchen zur Nachahmung der bezüglichen geodynamischen Prozesse gebrauchen sollte (etwa

$10^5$  – bis  $10^7$  – fach verkleinerter Maszstab). Auch bei unseren anthropomorphen Vorstellungen soll man mit solchen niedrigen Viskositäten rechnen. Das macht, dass die grosszügigen geodynamischen Prozesse mit den Begriffen der Fließkunde (Rheologie) und nicht mit den Auffassungen des Technikers und Baumeisters beschrieben werden müssen.

von Hinabpressen oder Hinaufdrücken. Nach Wunsch kann er das Absinken auch als Dehnung deuten. Aber auf diese Weise wird direkt die mechanische Deutung konform einem geodynamischen Modell introduziert, statt sich an die Tragweite der diagnostischen Tatsachen zu halten. Ein Beispiel solcher Voreingenommenheit bezüglich des kausalen Mechanismus gab ein bekannter Plattentektoniker, der für das "Auf und Ab" der Gibraltarschwelle den "Nordmarsch" des ganzen afrikanischen Kontinentes verantwortlich machte. Hier könnten doch auch regionale oder sogar lokal beschränkte Massenkreisläufe im Untergrunde die Ursache dieser Vertikalbewegungen sein.

Die Maszstäbe der geodynamischen Prozesse sind so viel grösser, und sie verlaufen im allgemeinen so viel langsamer als in unseren Werkstätten und in den Laboratorien der Wissenschaft, dass wir zuerst die Aenderungen der Parameter beim Entwurf mentaler Konzeptionen und Experimente berechnen müssen; und wir müssen diesen Aenderungen dann auch wirklich Rechnung tragen.

Wenn wir das Verhalten der Erdkruste beschreiben, und diesen Prozess mental oder experimentell mittels Modellen nachahmen wollen, dann dürfen wir nicht dieselben Eigenschaften der Gesteine (wie Härte, Steifheit, Viskosität, usw.) voraussetzen, die wir mit dem geologischen Hammer erfahren. Wenn wir die lithosphärischen Platten mit einem Durchmesser von mehreren tausend Kilometern und etwa 100 km Mächtigkeit und mit Viskositäten zwischen  $10^{15}$  bis  $10^{25}$  poises experimentell nachahmen wollen mit Krusten von etwa einem Meter Durchmesser und 10 cm Mächtigkeit, dann sollten wir ein Material verwenden, dessen Viskosität eher der von Zahnpaste oder Pech gleichkommt. D.h., dass diese Prozesse mit der Fließkunde beschrieben werden sollten. Argand sprach schon von "Filets d'écoulement" und Gignoux von "tectonique d'écoulement". Auch die zyklonalen Strukturwirbel der Westalpen und des Nordapennins um das Westende des Po-Troges herum, (worauf G i d o n (1974) und C a i r e (1974) neuerdings hingewiesen haben) und der Wirbel des Fiji Gebietes (v a n B e m m e l e n, 1975b, Fig. 1)

deuten auf "fliessen" und nicht auf "schieben" und "stossen" hin.

Die Plattentektoniker begründen ihre Annahme der Rigidität der lithosphärischen Grosseinheiten mit der Beobachtung, dass die Deformationen an ihren Rändern konzentriert seien. Aber diese diagnostische Tatsache kann auch anders gedeutet werden. Wenn ein Brei oder eine Oelschicht auf einer Unterlage schwimmt, die eine niedrigere Viskosität aufweist, dann wird sie normalerweise nicht deformiert. Nur wenn gravitative Instabilität besteht, kann sie anfangen, als Ganzes zu treiben (triften) in Bezug auf ihren Untergrund. Kompressionen werden dort auftreten, wo diese Bewegung auf Widerstände stösst (z.B. wo angrenzende Massen sich nicht oder anders bewegen, dort wo Gefälls-Aenderungen in der Unterlage auftreten, wo physikalisch-chemische Dichte-Aenderungen in absinkenden Teilen stattfinden). Das werden dann die sogenannten destruktiven Grenzen der "Platten". Wenn jedoch keine Aenderungen in der Energie der Lage auftreten, herrscht einfach geodynamische Ruhe; keine inneren Spannungsgradienten treten auf, und das Material hat keine "Wegefähigkeit" (Schmidt, 1932, S. 36). Dieses Verhalten beweist doch keinesfalls die "Rigidität" der Gross- oder Mega-Platten. Das würde kaum ein europäischer Geologe von seinem arg zerstückelten Kontinent behaupten. Die Rigidität beschränkt sich auf kleine "Mikroplatten" und nur bis auf etwa ein Dutzend Kilometer Tiefe. Unterhalb der sogenannten seismischen Konrad-Diskontinuität sind die Deformationen viel mehr plastischer Art (siehe auch Roper, 1974).

Die Annahme der Plattentektoniker, dass die Mega-Platten eine beträchtliche Rigidität (Steifheit) besitzen, führt zu einer neuen Version der Lehre vom Katastrophismus. Kontinente prallen aneinander (Kollisionen) und die kontinentalen Schalen werden wie Teile einer Ziehharmonika über die Erdoberfläche hin- und hergeschoben.

Ein rezentes Beispiel geben Herron et al. (1974) für den amerasischen (oder laurentischen) Teil des arktischen Ozeans. Zuerst wird im Paleozoikum der nordöstliche, sibirische Kraton (Kolymski Block) darüber hinweg nach dem arktischen Archipel Canada's (die Queen Elisabeth Islands) geschoben, dann wird er in der Jura-Zeit wieder zurückgezogen; und schliesslich bewegt sich dann Ende Kreide in einer senkrecht dazu verlaufenden Richtung die Laramide-Platte in Richtung des Nordpols. Das sind typisch "Hypothesen ad hoc", wofür natürlich regionale Daten gefunden werden können, die in dieses Modell von Hin- und Her- bzw. Kreuz- und Quer-Bewegungen passen würden. Aber kritische Ueberprüfungen an Hand weiterer diagnostischer Daten und mondialem Zusammenhänge fehlen. So kann man fragen, warum in den Abbildungen Grönland und Eurasien in Richtungen treiben sollten, die eben entgegengesetzt sind zu jenen, die von paläomagnetischen und regional geologischen Untersuchungen angedeutet werden, während man die Nordamerikanische Platte stabil hält? Liegt hier bei den amerikanischen Autoren eine unbewusste Abneigung zu Grunde, ihren eigenen Wohnsitz treiben zu lassen?

Das von Herron c.s. gegebene Modell ähnelt früheren Vorstellungen von Rudolf Staub, der die Entstehung des Mittelmeeres und der alpinen orogenen Phasen mittels Hin- und Zurückschieben des afrikanischen Kontinentes, als eine Art Sturmbock, erklärte.

Derartige Vorstellungen von katastrophalen geodynamischen Prozessen gehören eher zum Erbgut der Wissenschaft der "Offenbarungen" in babylonischen Zeiten. Nur nennt man sie heutzutage anders, nämlich Hypothesen ad hoc. Solche Modelle werden vielmehr Glaubenssache, die hauptsächlich gefühlsmässig akzeptiert werden.

Man muss auch zugeben, dass der Mensch mit seinem beschränkten Gehirn und seiner begrenzten Lernfähigkeit gegenwärtig geistig kaum mehr im Stande ist, die Sintflut der Daten und der wissenschaftlichen Literatur kritisch zu verarbeiten. Deshalb sollten alle Wissenschaftler, auch die Geonomen, in der Zukunft viel intensiver Gebrauch machen von Computern, mit ihrem grossen Gedächtnis für Tatsachen und ihren vielfältigen Programmierungsmöglichkeiten (Agerberg, 1974).

Diese kurze Betrachtung der Beeinflussung unserer Vorstellungen durch den anthropomorphen Fach-Jargon und die emotionell bedingten Vorzüge für bestimmte Modelle möchte ich mit einer tiefergreifenden Bemerkung psychologischer Art abschliessen. Die Manie der Plattentektonik hat sich so ungeheuer schnell und so unkritisch verbreitet, dass es unheimlich wirkt. Fast ein jeder will mitmachen, wobei Beobachtungen und Möglichkeiten mehr oder weniger kritiklos in dieses neue Modell der Geodynamik hineingezwungen werden. Die Amerikaner verwenden dafür den Ausdruck: "Everybody is jumping on the Bandwagon".

Möglicherweise könnte ein unbewusster psychologischer Trieb dieser plötzlichen Vorliebe für das Modell der Plattentektonik zugrunde liegen. Robert L. Bates signalisierte nämlich in seiner bekannten Spalte ("the geologic column") in Geotimes, August 1973, eine freudianische Verschreibung eines Plattentektonikers, der statt "Subduktion" das Wort "Seduktion" gebrauchte. Daran anschliessend bemerkte W. D. Brückner, in Geotimes von Juni 1974, dass vielleicht die sex-symbolische Art der Querschnitts-Zeichnungen der Subduktionszonen erotische Assoziationen erregen (Fig. 5). Man stellt sich vor, dass die steife ozeanische Lithosphäre ("high-Q-values") aktiv der bebenden Benioff-Zone entlang in den weichen (asthenosphärischen) Schoss der Mutter Erde gestossen wird. Leifflüchtige Bestandteile dieser Verschlusszone werden ausgeschieden (ejakuliert) und diese migrieren ins Mantelmaterial hinein, wo sie Basaltmagmen erzeugen. Nach einer geeigneten Inkubationsperiode steigen diese spezifisch leichteren Magmen diapirisch empor ("Ultra-Low-Velocity bodies with extremely low Q-values") bis sie an der Oberfläche einen "hot spot" bilden und zur Geburt von Vulkanen führen.

Brückner betont, dass Geologen oft längeren Perioden ungewollter Askese unterworfen sind, wegen ihrer Arbeit im Gelände oder bei Expeditionen nach weitab von der Zivilisation gelegenen Gebieten. Dadurch sind Geologen oft sexuell

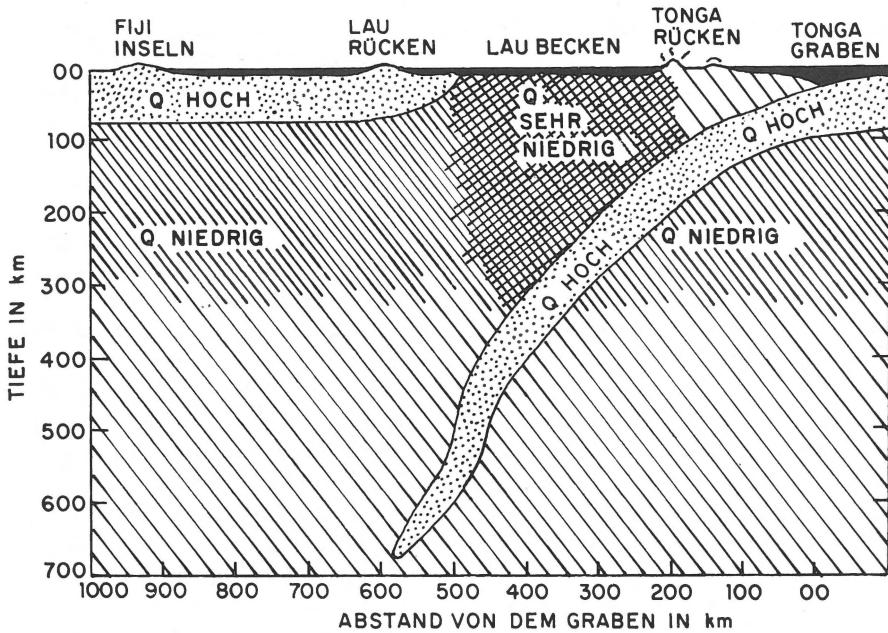


Fig. 5

Sukduktion und Manteldiapirismus im Bereich der Fiji-Inseln und der Tonga-Kermadec Inselbogen. (Nach Barzangi und Isacks, 1971).

verhungerte Personen ("sex-starved"). Für solche Schlachtopfer ihres Berufes sind die Phantasien, welche solche Querschnitte ermöglichen, vielleicht eine unbewusste Gelegenheit, ihre Frustrationen los zu werden. Man spricht von "Flipping" der Subduktionszone (die Aenderungen der Abtauchrichtung, ein geomechanisch unbegreiflicher Prozess), man erzeugt "Mélanges", man versucht radioaktive Abfälle via Tiefsee-Rinnen in die Subduktionszonen abzuschleppen, usw.

Wenn Teile der Lithosphäre die Subduktion nicht mitmachen, wird ein neues Wort erfunden, die "Obduktion". Bei diesem Prozess werden dünne Schichten der Kruste abgeschält und emporgesprengt. So wären nach Oxburgh (1972) die Ostalpinen Decken entstanden. Die Erklärung dafür war, dass diese sialischen Teile der Lithosphäre spezifisch zu leicht waren, um diese Verschluckung mitzumachen. Aber was soll man dann von der "Obduktion" der spezifisch schweren ophiolitischen Oman Decke denken (Dickinson, 1974, Abb. 3 auf S. 423)? Ist das ein Beispiel unkritischer "Seduktion" durch einen neuen Ausdruck?

Man kann mit Goethe wohl sagen: "Wenn die Begriffe fehlen, stellt zur rechten Zeit ein Wort sich ein", oder sogar auch fragen: "Wer darf das Kind beim rechten Namen nennen?" (Faust, Nacht, Vs. 589). Es wäre für die Geonomie besser, wenn man sich über diese unterbewussten Tarnungen klar würde, so dass die Denkmodelle der Geodynamik nicht länger als Prokrustesbette der Wirklichkeit missbraucht werden (van Bemmelen, 1972a). Es handelt sich in der Geodynamik ja nicht um psychologische Triebe, sondern um mechanische Antriebe.

## DIE ANTRIEBSKRÄFTE DER IRDISCHEN ENTWICKLUNG

Mit dieser Jeremiade über den Missbrauch der Fachsprache sind wir schon beim Problem der Antriebskräfte der terrestrischen Entwicklung angelangt.

Bei unseren Versuchen die geomische Entwicklung zu erklären müssen wir immer auf diese Wechselbeziehungen zwischen den nuklearen und physiko-chemischen Kräften der Geo-thermo-dynamik einerseits acht geben (nämlich spontaner Zerfall radioaktiver Isotope und exotherme oder endotherme chemische Reaktionen) und andererseits den Trägheitskräften, welche zu relativen Massenverlagerungen der Geo (-rheo-) dynamik führen (Fig. 1). Die Verflechtungen der geochemischen und geodynamischen Prozesse liefern ein viel komplizierteres Bild der irdischen Entwicklung als das rein mechanische Modell der Plattentektonik. Ein langjährig und gut studiertes Beispiel solcher Verflechtungen der geothermodynamischen Prozesse im Mikrobereich und der georheodynamischen Prozesse im Makrobereich ist das Bushveld Gebiet in Südafrika (van Bijl, 1974).

Die Plattentektoniker nehmen gewöhnlich an, dass die Bewegungen der lithosphären Platten von thermalen Konvektionsströmungen angetrieben werden, welche als "Transportbänder" funktionieren sollten. Thermale Konvektionen im Mantel sind nur möglich, wenn der Mantel chemisch homogen ist. Diese Annahme ist jedoch nach neueren seismischen Beobachtungen (z.B. Dornbos, 1974) und nach moder-

nen geochemischen Auffassungen (z.B. v a n B e m m e l e n, 1975a) sehr unwahrscheinlich. Wenn chemische Inhomogenitäten im Mantel vorhanden sind, kann nur von Massenkreisläufen die Rede sein, welche komplexe energetische Systeme bilden, so wie sie uns von diapirischen Bewegungen bekannt sind (heterogene Massenkreisläufe; R a m b e r g, 1967). In solchen energetischen Systemen ist die gravitationelle Energie der Lage in Zusammenhang mit der freien Energie des ganzen Systems massgebend. Wir kommen dann zum Prinzip der Gravitationstektonik.

## DIE ANTRIEBSKRÄFTE DER GEODYNAMISCHEN ENTWICKLUNG

Es gibt eine generelle und eine spezielle Relativitätstheorie bezüglich unseres Weltalls; es gibt eine generelle (kosmogonische) und spezielle (terrestrische) Geonomie bezüglich der Geschichte unseres Planeten; es gibt das generelle Problem der Antriebskräfte der endogenen irdischen Prozesse (im Mikro- und Makrobereich) und das spezielle Problem der Geodynamik, wobei nur die Trägheitskräfte der Massen in Frage kommen. So kann man schliesslich auch von den generellen und den speziellen Auswirkungen dieser Trägheitskräften sprechen, je nachdem man die Massenverlagerungen in der ganzen Erde oder im Bereich der Lithosphäre betrachtet.

In der *Gravitationstektonik* sensu lato ist die Energie der Lage im rotierenden Erdkörper massgebend. Ob oberflächennah oder tief gelegen, ob nahe der äquatorialen Schnittfläche oder nahe der Rotationsaxe, die geometrische Position und die spezifische Dichte jedes Massenpartikelchens des Erdkörpers bezeichnet seine potentielle Energie zur Verlagerung. Die sich dadurch ergebene Antriebskraft kann im Gleichgewicht mit jener der angrenzenden Massen sein oder davon vektoriell abweichen. Das Partikelchen kann entweder relativ zu schwer oder relativ zu leicht sein; es kann mehr oder weniger rotative Energie besitzen als seine Umgebung. Es sind die überall vorkommenden, den Massen inhärenten Trägheitskräfte, welche die Geodynamik der ganzen Erde beherrschen. Weil es ganz langsame Bewegungen in mehr oder weniger viskosem Material sind, müssen die Bewegungen vom Standpunkt der Fliesskunde (Rheologie) beschrieben werden. Die Verlagerungen der Massen können in verschiedenen Tiefenstockwerken auftreten und grössere oder kleinere Erdteile umfassen. Ihre Wirkungen sind immer kumulativ, und sie müssen mittels einer relativistischen Strukturanalyse innerhalb der räumlichen und zeitlichen Beschränkungen der irdischen Entwicklung erfasst werden.

Dehnungen oder Schrumpfungen der ganzen Erde, aufsteigende diapire Massenströmungen und absinkende Subduktionsmassen, thermale Konvektionen in chemisch homogenen Mantelgebieten, sowie Massenkreisläufe, die sich auch in chemisch inhomogenen Erdteilen vollziehen können, seitwärts gerichtete Injektionen oder abfliessende Strömungen

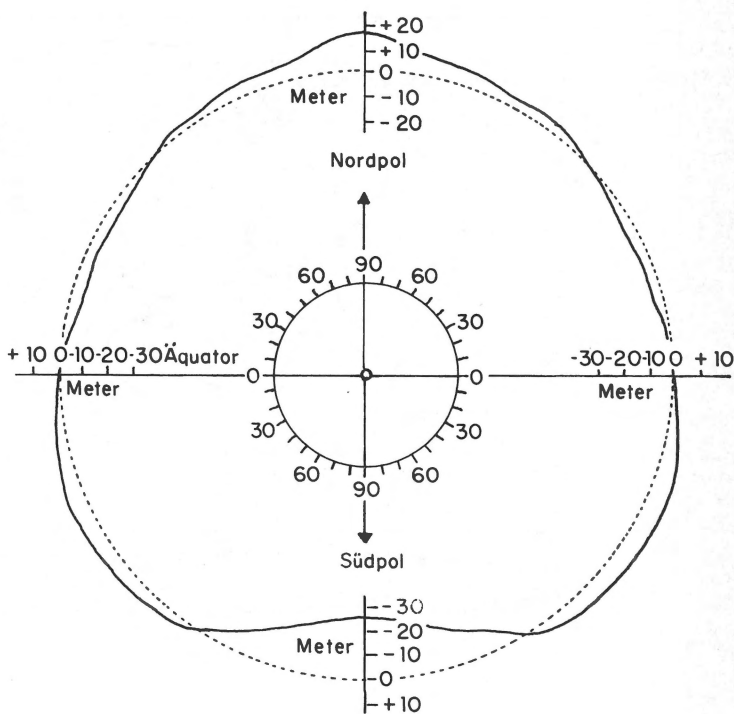


Fig. 6

Die neuesten Daten der Geoidgestalt nach Beobachtungen mit Lasers und Kameras (King-Hele, 1974, Abb. 7 und 8).

6a

N-S Querschnitt des Geoides in Bezug auf den Sphäroid.

6b

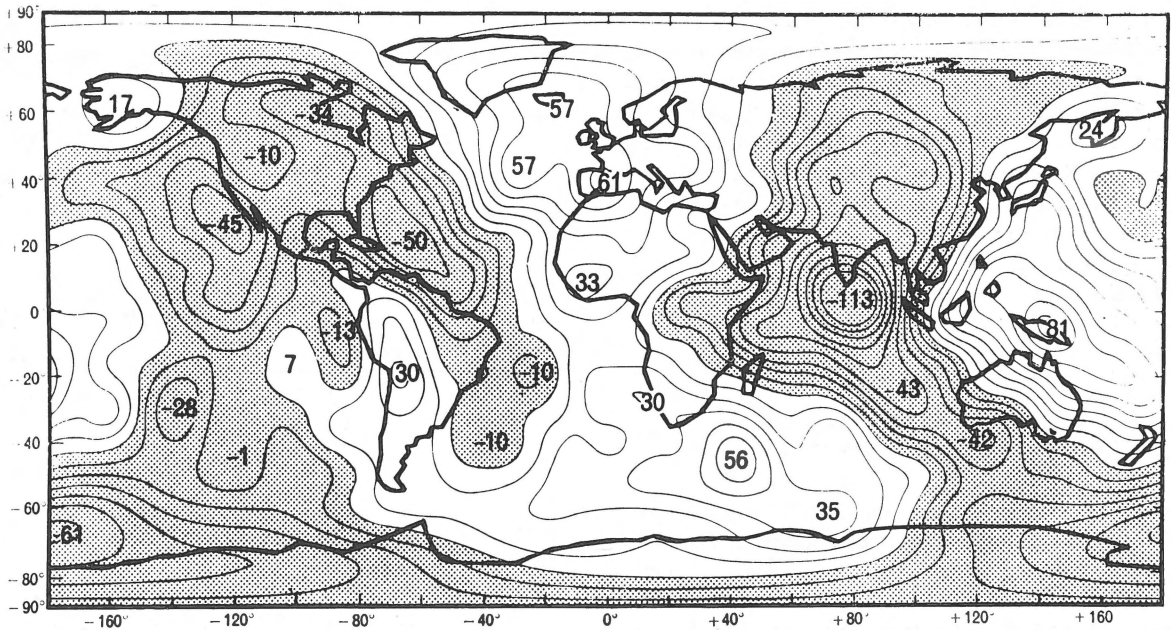
Die Geoidgestalt mit Angaben der Abweichungen vom Rotationsellipsoid (Sphäroid) mittels Höhenlinien in Metern.

*Erläuterung:* Die Geoidgestalt ist die theoretische, kontinuierliche Meeresoberfläche, welche überall senkrecht auf der Richtung der Schwerkraft (Lotrichtung) steht. Die Abweichungen sind die Folgen von Störungen des gravitativen Gleichgewichtes innerhalb der Erde. Negative Anomalien deuten auf Anwesenheit relativ zu leichter Massen, die eine aufwärts gerichtete Triebkraft besitzen. Positive Anomalien zeigen, dass relativ zu schwere Massen vorkommen, welche abwärts sinkende Tendenz haben. Die Anomalien erster Ordnung, die als grosse Beulen und Dellen der Erdoberfläche gezeigt werden, sind also keine reellen Deformationen der Erdoberfläche; sie können als potentielle Triebkräfte geodynamischer Prozesse gedeutet werden. Es sind aktuelle Anhäufungen der gravitationellen Energie der Lage, welche eine generelle Gravitationstektonik zur Folge haben.

Diese rheologische Deutung der Geoidgestalt führt zu Erwartungen (Prognosen), welche geonomisch verifiziert werden können.

Zum Beispiel, eine grosse negative Anomalie (-113 m) hat ihr Zentrum unterhalb Ceylon. Auf der Nordflanke dieser aktiven Mega-Undation liegt das Indische Subkontinent, das die Neigung hat nordwärts wegzutreiben. Das ist mittels paläomagnetischer Untersuchungen an Deccan traps bestätigt worden.

Die Ceylon-Anomalie gehört zu einem Ring-System solcher negativen Anomalien, mit fast 20.000 km Diameter, das von der Nordseite des Indischen Ozeans via den Südozean beim Ostpazifischen System anschliesst. Dieser Ring fällt zusammen mit dem System mittelozeanischer Rücken, mit einer aktiven Riftzone als Scheitellinie. Im Zentrum liegt die "Darwin Rise", eine fossile Mega-Undation, die in der Kreidezeit aktiv war, aber seitdem langsam zurück sinkt und zur Zeit von positiven Anomalien gekennzeichnet ist (+ 81 m bei Neuguinea).



Dieses Absinken kann teilweise die Folge sein von Abkühlung der oberflächen-nahen Teile der Darwin Mega-Undation. Aber der grössere Faktor ist wahrscheinlich die Hinabsenkung als Folge einer volumetrischen Kompensation der auftriebenden Mantelströmungen unterhalb dieses grossen Ring-Systems aktiver Mega-Undationen mit negativen Anomalien. Diese differentiellen Vertikalbewegungen schaffen eine gravitationelle Energie der Lage, mit einem weitgespannten Spannungsfeld von hauptsächlich horizontalen und zentripetal gerichteten Trajektorien ganz kleiner Spannungsgradienten.

Dieses Spannungsfeld verursacht zentripetale Triftbewegungen, nicht nur der neugebildeten simatischen Ozeankruste, welche von den Schultern der Mittelozeanischen Aufwölbungen abgeleitet (der Prozess der "Seafloor spreading" mit paläomagnetischer Bänderung) sondern auch das ostwärts Hineinmigrieren der Ostasiatischen Inselbogen nördlich der Darwin Rise (Marianas sind am weitesten vorgerückt) und die Südtrift Indonesiens an der Westseite der Darwin Rise. Sogar auch die Ostrift des Australischen Kontinentes in Jungkänozoischer Zeit und der voraneilende antizyklonale Wirbel des Fiji-Gebietes, an der Südseite der Darwin Rise entlang sind geodynamische Effekte dieser Mega-Massenkreisläufe im Mantel. (Siehe Abb. 10 auf S.218 in van Bemmel, 1972b, Abb. 4 in Beck und Lehner, 1975, und Fig. 1 in van Bemmel, 1975b).

Der mittelatlantische Rücken ist auch, wie die "Darwin Rise" im Pazifik, von positiven Schwere-Anomalien gekennzeichnet. Das könnte darauf hindeuten, dass der tiefe, mega-undatorische Auftrieb dieser Zone schon nachgelassen hat und anstatt dessen (wegen der Abkühlung) schon ein Absinken angefangen hat. Nur der oberflächennahe geochemische Effekt der Atlantischen Mega-Undation, die grosse Linde anormalen Obermantel-Materials mit basaltischen Magmen, ist noch da und verursacht den geo-undatorischen Auftrieb der Mittelatlantischen Schwelle mit nachwirkendem Vulkanismus (Island, z.B.).

Der mega-undatorische Auftrieb hat sich westwärts verlagert. Sie bildet jetzt eine Zone negativer Schwere-anomalien erster Ordnung, welche sich ausdehnt vom Südtel der Arkris über NO-Kanada, westlichen Atlantik (Bermuda Schwelle), zum Westteil der südlichen Atlantik (Bromley Plateau östlich von Argentinien). Diese Verlagerung macht das Nordamerika im jüngeren Känozoikum nicht mehr westwärts sondern SW bis südwärts triftet, an der ostpazifischen Schwelle entlang (San Andreas Seitenverschiebung); die Bermuda Schwelle sowie die Bromley Schwelle könnten Andeutungen der Bildung eine neuen mittelozeanischen Rückens im westlichen Teil der Atlantik sein

(Siehe Kapitel II in van Bemmel, 1972b).

Diese Hinweise auf eine Deutung der Schwere-Anomalien des Geoids nach dem Konzept der Gravitationstektonik sensu lato genügen für die Auffassung, dass mit diesem Prinzip einen aussichtsvollen Weg zum besseren Verständnis der Antriebskräfte in der Geodynamik eröffnet wird.

von pilzartig verfliessenden Diapiren ("mushrooming"), Kollapsen wegen physikalisch-chemischer oder durch andere magmatische Prozesse entstandene Inversionen der stabilen Dichte-Stratifikation, usw. — sie sind alle semi-autonome energetische Systeme, die jedoch miteinander verwoben sind und aufeinander superponiert werden. Alle gehören zum Gebiet der Gravitationstektonik sensu lato.

Es ist einerlei, ob die Temperatur durch radioaktive Erwärmung oder durch physikalisch-chemische Prozesse ändert; massgebend sind die sich dadurch ergebenden Änderungen der spezifischen Dichte, welche die potentielle Energie der Lage bestimmen. Das ist zwar in erster Linie die Folge der radialen Gravitation, aber auch die Kräfte zufolge der rotativen Trägheit können sich geodynamisch manifestieren (van Bemmel, 1971, 1972b, 1975b).

Wir kommen jetzt zur Gravitationstektonik sensu stricto. Diese wird oft als Gleittektonik aufgefasst, was eigentlich ein zu beschränkter Begriff ist; Gleittektonik befasst sich nur mit direkt beobachtbaren, oberflächennahen Abgleitungen von unkonsolidierten Massen. Diese Gleittektonik ist analog der "Sekundärtektogenese" Erich Haarmann's (1930) welche ihre gravitationelle Energie der Lage durch differenzielle Vertikalbewegungen der Erdoberfläche ("Primärtektogenese") bekommt. Die Primärtektogenese ist selber die Folge von Massenverlagerungen in der Tiefe, die im Sinne der generellen Gravitationstektonik mechanisch gedeutet werden können.

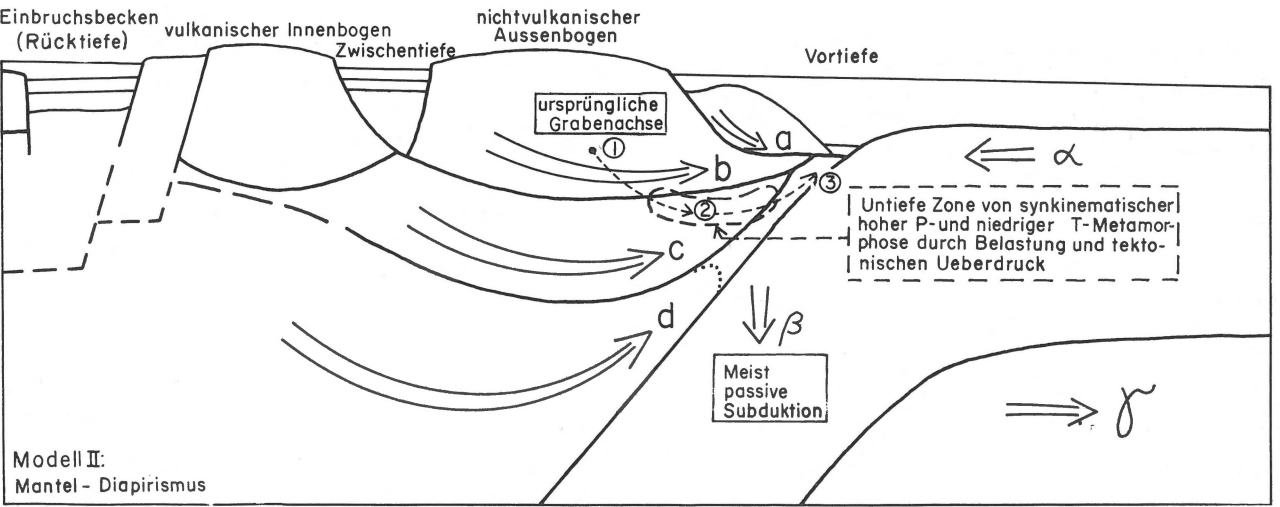
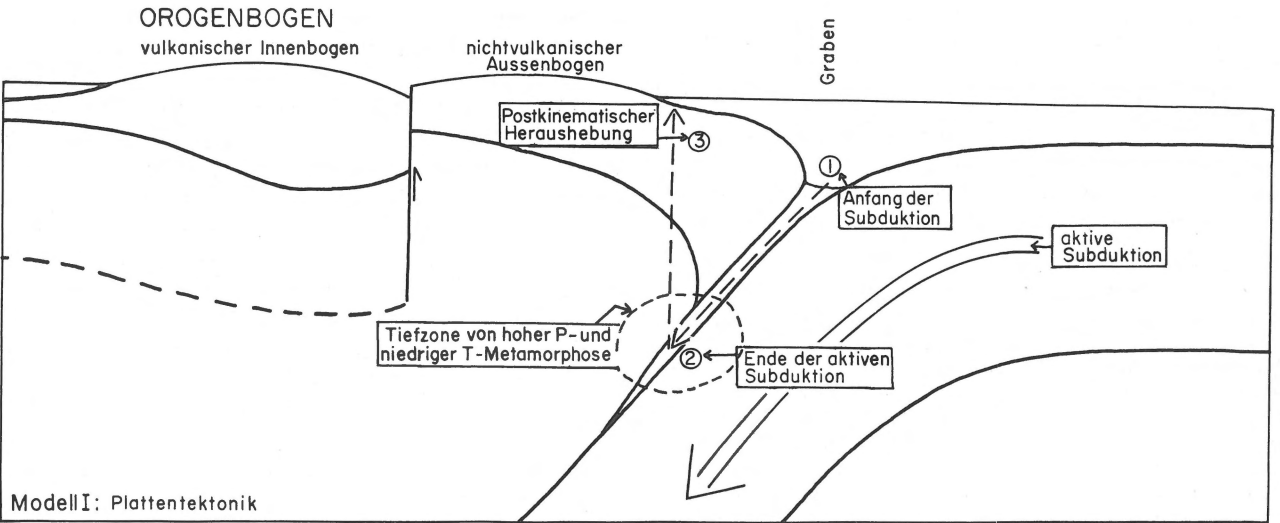


Fig. 7  
 Zwei Deutungsversuche der Entstehung der Japanischen Inselbogens (nach van Bemmelen, 1974).  
**Modell I:** Nach dem Modell der Plattentektonik wird die Asiatische lithosphärische Platte von der pazifischen Platte aktiv unterschoben. Die Sedimente der marginalen Tiefsee-Rinne sollten dabei entlang der Subduktionszone dutzende Kilometer tief hinabgeschleppt werden, und nacher, beim Aufhören der Subduktion, Gelegenheit haben, wieder isostatisch empor zu steigen. Dadurch werden sie als Hochdruck und Tieftemperatur Mineralfazies (Glaukophan und dergl.) wieder an die Oberfläche kommen. Die Erwartungen dieses Modells werden nicht von diagnostischen Beobachtungen bestätigt; denn die "sea-floor spreading" des Pazifiks hat nicht aufgehört, so dass die Vorbedingung für das isostatische Aufsteigen nicht erfüllt ist.  
**Modell II:** Im Gebiet des Japanischen Meeres ist die Asthenosphäre diapirisch emporgestiegen (wie im Fiji-Tonga Gebiet, siehe Fig. 5). Das hat zu gravitationellen Instabilitäten geführt, welche durch Verfließen ozeanwärts entspannt bzw. gemildert wurden, während die Aufwöl-

bung selber zurück sank ("collapsed"). Diese Entwicklung ("mushrooming") hat im Laufe des Tertiärs zu folgenden geodynamischen Prozessen Anlass gegeben (von West nach Ost):  
 1) Aufsteigen und Zurücksinken des diastrophischen Zentrums im Japanischen Meer (Yamato Trog).  
 2) Vulkanismus entlang der Innenseite des Japanbogens (Vulkanischer Innenbogen, Honshu)  
 3) Ostwärts Wegtreiben der Aussenseite des Bogens in den Stockwerken a, b, c, und d:  
 a. Deckenstauungen helvetischer Art durch Abgleiten der nicht-metamorphen Sedimenthülle in die Randsenke hinein; Bildung einer submarinen Terrasse zwischen Shikoku und der Achse der Vortiefe (Molasse-Phase).  
 b. Dehnung und Ausbreitung des Daches der zentralen Beulung im Gebiete des Japan-Meeres und des Inselbogens führt mittels zyklodaler Abgleitungsflächen zur Ueberschiebung von Decken ostalpinen Art in die Richtung der Vortiefe (Flysch-Phase). An der

Rückseite dieser grossen Ueberschiebung(en) bildet sich der Dehnungsstrog Seto Naikai zwischen West Honshu und Shikoku (Molasse-Phase).

c. Das ostwärts Verfliessen der zentralen Manteldiapire im Gebiet des Japan-Meeress ("Mushrooming") führt zur Ueberschiebung der sub-Moho Lithosphäre über die Vortiefe; analog an der Ueberschiebung der Ivrea-Zone in den Westalpen.

d. Injektion und Extrusion ophiolitischer Magmen in die Vortiefe hinein, gefolgt von Deckenbildungen penninischer Art. Bildung alpinotyper Dynamometamorphose (Schistes lustrées, Bündner Schiefer).

Die seitwärts Bewegungen in den Stockwerken a, b, c, und d verursachen kumulativ eine Belastung der angrenzenden ozeanischen Lithosphäre, welche dadurch hinabgedrückt wurde. Dieses Hinabdrücken geschieht ruckartig (periodisch), während der tektonogenetischen Phasen. In den Zwischenzeiten herrscht orogene Ruhe, so dass in der Vortiefe ungestörte Sedimentserien angesammelt werden können, vor und nach den Flysch- und Molasse-Phasen der alpinen Orogenese. An der Ozeanseite wurden beim Hinabdrücken staffelartige Abschiebungen und kleine Y-förmige Dehnungsströge gebildet. Diese Tatsachen wurden alle von den modernen Tiefseeuntersuchungen bestätigt.

Während der Bildung der Decken penninischer Art wurden ruckartig grosse Deformationsgeschwindigkeiten erreicht, wodurch die leichtflüchtigen Bestandteile nicht schnell entweichen konnten (speziell bei Absperrungen durch serpentinierte Ophiolite). Die so entstandenen tektonischen Ueberdrucke könnten – bei normalen Temperaturgradient – lokal die typischen Hochdruck-Tiefemperatur Mineralparagenesen der Glaukophanfazies liefern.

Da der Prozess der Magmenbildung und des Manteldiapirismus unter dem diastrophischen Zentrum an der Rückseite des Inselbogens von ausgeschiedenen leichtflüchtigen Bestandteilen des hinabgedrückten Ozeanbodens angeregt wird, entsteht eine Art Selbstinduktion, so dass eine Ostwanderung der ostasiatischen Randbogen auftritt. Reste der sialischen Kruste vom Ostrande des asiatischen Kontinentes können durch gravitationelles Reiten dieser sukzessiven und migrierenden Hebungsimpulse bis mehrere tausend Kilometer verfrachtet werden (das Prinzip der "surfriding". Beispiel: Mariana Bogen). Ungeachtet der kontinuierlichen westwärtsigen Triftbewegung der pazifischen Lithosphäre mit einer Geschwindigkeit von einigen Zentimetern pro Jahr, ist die periodische Subduktion durch Ostwandernde Inselbogen ein passiver Prozess. "Seafloor-spreading" ist also nicht die Ursache der Orogenese, wie von den Plattentektonikern angenommen wird.

Persönlich möchte ich den Begriff der Gravitationstektonik *sensu stricto* etwas weiter fassen als nur oberflächliche Abgleitungserscheinungen. Alle Deformationen, welche durch geologische Beobachtungen studiert werden können, die jedoch während ihrer Bildung in tieferen Stockwerken stattfanden, können zur speziellen Gravitationstektonik gerechnet werden. Also nicht nur epidermale Abgleitungen, sondern auch dermale und bathydermale Bewegungen, die im Grundgebirge aufgeschlossen sind, sogar auch Fliessprozesse im Moho-Bereich, wovon Zeugen in der Ivrea Zone der Westalpen gefunden werden, das Triften der kontinentalen Kruste und "sea floor spreading", und "Subduktion" – alle diese geodynamischen Prozesse der Lithosphäre gehören zum Gebiet der Gravitationstektonik *sensu stricto*. So haben de Jong und Scholten die Schwerkrafttektonik in dem von ihnen herausgegebenen Buch "Gravity & Tectonics" (1973) aufgefasst. Mit diesem Buch wird gezeigt, dass dieser Begriff fast ein Jahrhundert nach R e y e r 's Pionierarbeit

(1888, 1907) endlich Wurzel gefasst hat. Es ist zur Zeit zu einer mehr allgemein anerkannten "Gestalt" herangereift.

Während der grossen Alpenexkursion unter Führung von Rudolf Staub im Jahre 1934, anlässlich der 50-Jahr Feier der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft, war ich noch der einzige Teilnehmer, der es damals wagte, den Begriff der Schwerkrafttektonik grundsätzlich zu verteidigen; obwohl doch das "Branden" der helvetischen Decken an die Alpen-nordseite ein herrliches Beispiel der Gleittektonik bildet (A m p f e r e r, 1934), und wo die örtlich nur fingerdünnen Wurzeln der penninischen Decken an der Alpensüdseite doch unmöglich den Druck des heranpressenden afrikanischen Kontinentes bis zur Stirn dieser Decken übertragen könnten.

Mit dieser späten Anerkennung der Gravitationstektonik *sensu stricto* kann man natürlich zufrieden sein. Aber für mich persönlich ist es heutzutage noch ein Problem, wie man die Fachgenossen davon überzeugen kann, dass die Schwerkrafttektonik *sensu lato* ein funktionell richtiges rheologisches Modell für die geodynamische Entwicklung der ganzen Erde ist, viel mehr als das technisch-mechanistisch und anthropomorph getarnte Modell der Plattentektonik.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- Agterberg, F.P. (1974) – Geomathematics (Mathematical background and geoscience applications). Developments in Geomathematics 1. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, XXI, 596 S.
- Ampferer, O. (1939) – Ueber die Gleitformung der Glarner Alpen. Sitzungsber. Ak. Wiss. Wien, Mathem.-Naturwiss. Kl. I, 143 (3/4), S. 109-121.
- Barazangi, M. & B. Isacks (1971) – Lateral variations of seismic wave attenuation in the upper mantle above the inclined earthquake zone of the Tonga Island arc deep anomaly in the upper mantle. J. Geophys. Res., 76, S. 8493-8516.
- Bemmelen, R.W. van (1964) – Mega-Undationen als Ursache der Kontinentverschiebungen. Mitt. Geol. Ges. Wien, 58: S. 219-231.
- (1967) – On the interpretation of the apparant form of the geoid and of the terrestrial heat flow. Tectonophysics, 4 (1): S. 101-106.
- (1971) – Influence of rotative inertia (Coriolis force) on geodynamics. Comments on Earth Sci.: Geophysics, 2 (2): S. 49-59.
- (1972a) – On Custom, inertia and authority. Geotimes, March 1972, S. 9-10.
- (1972b) – Geodynamic Models: an evaluation and a synthesis, Developments in geotectonics. Elsevier, Amsterdam, XI + 267 S.
- (1973) – Geodynamic models for the alpine type of orogeny (test-case II: the Alps in Central Europe). Tectonophysics 18: S. 33-79.
- (1974) – Driving forces of orogeny, with emphasis on blueschist facies of metamorphism (test-case III: The Japan Arc). Tectonophysics 22: S. 83-125.
- (1975a) – Berlage's accretion model of Lunar Origin, and its Geochemical consequences. Kon. Nederl. Acad. v. Wetenschappen, Amsterdam (in Druck). (angeboten von W.P. de Roever, febr. 22, 1975).
- (1975b) – Some basic problems in Geonomy. Symposium Netherl. Comm. Intern. Geodyn. Project. Amsterdam April 3-4, 1975 (in Druck).

- Biljon, S. van (1974) – Transformation and deformation of the Pretoria Series in the south-western part of the Bushveld Complex. Transactions of the Geol. Soc. of South Africa, 1974: S. 17-29.
- Brown, B.W. (1974) – Induction, deduction, and irrationality in geologic reasoning. *Geology*, 2 (9): 456.
- Caire, A. (1974) – Tectonique spirale en Méditerranée centrale. C.R. Acad. Sc. Paris, 278, Série D: 3165-3167.
- Dickinson, W.R. (1974) – Subduction and Oil Migration. *Geology* 2 (9): S. 421-424.
- Doornbos, D.J. (1974) – Array analysis of core phases. Ph.D. Thesis Utrecht, 12. Juni 1974.
- Haarmann, E. (1930) – Die Oszillationstheorie. F. Enke Verlag, Stuttgart, 260 S.
- Herron, E.M. J.F. Dewey & W.C. Pitman, (1974) – Plate tectonics model for the evolution of the arctic. *Geology* 2 (8): S. 377-380.
- Jong, K.A. de & R. Scholten, (editors) (1973) – Gravity and Tectonics. Wiley & Sons Interscience, New York, XXXII + 502 S.
- King-Hele, D.G. (1974) – Satellite geodesy with cameras and lasers. *Endeavour*, 33: S. 3-10.
- Oxburgh, E.R. (1972) – Plate Tectonics. *Nature*, 239: S. 202-204.
- Ramberg, H. (1967) – Gravity, deformation and the earth's crust, as studied by centrifuges models. Academic Press, London and New York, IX + 214 S.
- Reyer, E. (1888) – Theoretische Geologie. Stuttgart, 868 S.
- (1907) – Geologische Prinzipienfragen. W. Engelmann, Leipzig, (mit 254 Abbildungen).
- Roper, P.J. (1974) – Plate Tectonics: a plastic as opposed to a rigid body model. *Geology*, 2 (5): S. 247-256.
- Schmidt, W. (1932) – Tektonik und Verformungslehre. Gebr. Bornträger, Berlin.