

Ein Beitrag zum Problem der Rheingrabenbildung

von

Rudolf Maass, Freiburg i. Br.

Mit der gleichen Achtung, Zuneigung und Dankbarkeit, die schon den Studenten erfaßte, sei diese Schrift nun im Gedenken Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. MAX PFANNENSTIEL gewidmet. Ihr Inhalt behandelt zwar nicht eines seiner zentralen Interessengebiete, doch trifft er sich mit seinen frühesten geologischen Untersuchungen. Schon in seiner Dissertation über die Grundgebirgs- und Deckgebirgsklüfte im südlichen Odenwald (1927) spricht PFANNENSTIEL das Thema der Wiederbelebung alter Strukturen an. Erneut berührt er Sedimentation, Vulkanismus und Tektonik des Rheingrabens in den Jahren zwischen 1932—1937. Schließlich übertrug er 1955 und 1958 seinen Schülern Untersuchungen zur Beziehung zwischen Klüftung und Rheingraben-Verwerfungen. Auf diese Weise darf man vermuten, daß die hier behandelte Thematik bei PFANNENSTIEL lebhafteste Anteilnahme gefunden hätte.

Zusammenfassung

Es wird angenommen, daß die Grabenbildung auf globale, tangential Zugkräfte zurückgeht. Zunächst unregelmäßige Inhomogenitäten der Lithosphäre formieren sich zu Schwächezentren und -zonen, die allmählich miteinander zu einem Bruchsystem zusammenwachsen. Dieses ist als Ganzes auf den Hauptkräfteplan ausgerichtet, was nicht für seine Einzelabschnitte gelten muß. Die Dehnung kann vulkanische Äußerungen aus dem Mantelbereich hervorrufen, noch ehe bleibende, der Einsicht zugängliche Strukturveränderungen eintreten. Dann aber kommt es in zunehmendem Maße zu erhaltungsfähigen Reaktionen der Kruste. Sie sind stockwerkbedingt unterschiedlich (elastische Biegungen und Brüche oben — plastisches Fließen unten), wirken aber gleichermaßen auf eine Krustenverdünnung hin. Für die bruchhaften Deformationen des Oberrheingrabens sind Randsenken typisch, wie sie in den auf reinem Zug beruhenden Experimenten MURAWSKI's (1969) zum Ausdruck kommen. Die Krustenverdünnung durch Lateralbewegung erzeugt in der Tiefe vertikal wirksame Reaktionen, namentlich die Bildung eines Mantelpillows (durch Phasenumwandlung). Seine Entwicklung ist — nach den Verhältnissen im Oberrheingraben — unabhängig vom Ausmaß der Grabensenkung, aber gebunden an deren Alter (d. h. in älteren Abschnitten stärker ausgeprägt). Der exotherme Charakter der Mineral-Phasenumwandlung (Hoch- in Niederdruck-Modifikation) erklärt die in Gräben gemeinhin erhöhte geothermische Tiefenstufe.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. R. MAASS, Geolog.-Paläontolog. Inst. d. Universität, Hebelstr. 40, D-7800 Freiburg i. Br.

Eine Übertragung dieser Entwicklung (erst Rift — dann daran gebundener Pillow) auf mitteleozäne Rücken erscheint durchaus möglich und würde dem segmentiert ablaufenden Spreading und der Mobilität von Riftgürteln (z. B. Atlantik-Indik seit dem Permokarbon) eher entgegenkommen als andere Modelle.

Abstract

Contribution to the problem of Rhinegraben-building

The graben-building is referred to tangential global tension forces. Irregularly distributed inhomogeneities within the lithosphere get gradually centers and zones of weakness. Later on they arrange themselves to a fault system. This is — on the whole — in a fixed position to main stress plane, what must not be valid for its single branches. Tension activates often immediately mantle volcanism, while visible crustal reactions are somewhat hesitating. They are of different kind in upper and lower tectonic levels (faulting — flattening), but they are in the same way contributing to crustal thinning. Typical for deformation in upper stages of Rhinegraben are marginal throughs. Experiments of MURAWSKI (1969), based on pure lateral tension, show the same features. Crustal thinning causes vertical reactions in deep levels, to say a mantle-pillow by phase-transformation. Corresponding to the facts known in upper Rhinegraben, this is independent of downfaulting intensity, but strongly related to its age (the older the graben region, the bigger its pillow). The mineral phase-transformations are exothermic and explain by this way the elevated heatflow in graben structures.

It seems quite possible to apply this evolution (first rift than pillow) to mid ocean ridges. Their spreading in segments and the mobility of rift-belts (Atlantic-Indic after carboniferous time) could be explained easier in this manner than by other models.

Die Fülle des im letzten Jahrzehnt — vor allem durch das „Upper Mantle Project“ — beigebrachten geophysikalischen, geologischen und petrographischen Datenmaterials gab neue Denkanstöße und hat auch den vorliegenden Beitrag angeregt. Er soll eine Diskussion verschiedener aktueller Vorstellungen und die Darlegung eigener Gesichtspunkte enthalten.

Zur Frage präexistenter Lineamentanlagen

Es besteht unter den Autoren eine starke Tendenz, die großen Lineamente auf alte Anlagen zurückzuführen, so auch das Rheingrabensystem. Nach RICHTER-BERNBURG (1974, S.39) ist der Oberrheingraben „ein remobilisiertes Element eines präpaläozoischen Kluftsystems“; nach TEICHMÜLLER (1974, S.280) bilden „die Querstörungen im variszischen Faltengebirge die vorgezeichneten Bahnen, denen die Brüche ... der Niederrheinischen Bucht ... folgten“, und ILLIES (1974, S.438) sowie andere weisen darauf hin, daß die Hessische Senke gleichermaßen einer alten Schwächezone im variszischen Grundgebirge folge und ein Vorläufer des sie durchlaufenden rheinischen Grabengürtels sei. Aus diesen und ähnlich begründeten Richtungsbeziehungen zwischen alten Grundgebirgs-Strukturen und jungen Bruchsystemen ergibt sich für zahlreiche Autoren die Schlußfolgerung, daß einmal gebildete Klüfte oder Brüche auf unabsehbare

Dauer fixiert bleiben. Dabei könnten sie jederzeit aktiviert werden, und zwar je nach Orientierung der Beanspruchungspläne auch mit veränderter Funktion. „Die planetarisch-lineamentäre Zerlegung der Erdkruste“ soll zeitlich und räumlich tiefer in den Mantel hinein wirksam sein als der kurzfristig wirksame orogene Motor (KNETSCH, 1969, S. 226) bzw. es ließen sich „wohl Kontinentaldrift und Orogenesen, aber nicht das Bruchsystem ... mit Strömungen im oberen Erdmantel“ erklären. Die lineamentären Elemente stellten Festkörper-Reaktionen dar, die man mit solcher Einheitlichkeit nur in darunter befindlichen Erdtiefen erwarten könne (RICHTER-BERNBURG 1974, S. 41).

Im Nachfolgenden soll die Möglichkeit von Wiederbelebungen älterer Strukturen nicht prinzipiell bestritten werden. Der Verfasser hat selbst solche Fälle an Klüften des Oberrheingrabens beschrieben (vgl. MAASS 1972). Dennoch seien einige einschränkende Bedenken vorgebracht.

Bei den bestehenden Gebirgsbildungsmodellen geht man im allgemeinen davon aus, daß Orogene bis zur geotektonischen Reaktionsfläche (sei sie nun Krusten- oder Lithosphärenbasis) magmatotektonisch durchwirkt werden. Ältere Strukturen müßten sich demnach eher an tektonisch abgekoppelten Oberflächenbereichen als in der Tiefe dauerhaft erhalten können. Der orogene Motor wird — vor allem, wenn in ihm Strömungen des oberen Mantels gesehen werden — heute mit gutem Grund in die Asthenosphäre verlegt, und es bestünde für einen darunter befindlichen elastischen Lineamentträger kaum die Möglichkeit, seine Strukturmuster durch die konstant vorhandene, vorwiegend hydrostatisch reagierende Mobilzone des Lower Velocity Layers (Gutenberg-Kanal) hindurch auf die Lithosphäre zu übertragen. — Soweit unmittelbare Informationen zu erhalten sind, weisen die mit Brüchen und Orogenen im Zusammenhang stehenden Tiefenwirkungen gleichermaßen Reichweiten bis zum obersten Mantel auf. Manche Autoren bezweifeln begründet die dauerhafte Erhaltung von Verwerfungsflächen selbst innerhalb der tieferen Lithosphäre oder auch der unteren Kruste. Im Oberrheingraben haben die reflexions-seismischen Untersuchungen von DOHR (1957) dementsprechend keine Anzeichen für Verwerfungsflächen geliefert, die tiefer als 7 km reichten. Klüfte schließlich werden ziemlich weitgehend als charakteristische Erscheinungen der Oberfläche angesehen (vgl. u. a. WEGMANN 1962, der beide Strukturformen ins oberste tektonische Stockwerk verlegt). Die Annahme einer Präexistenz von Anlagen für jüngere Verwerfungen sollte demnach stets mit größter Vorsicht abgewogen werden.

Grabenbildung

Für die Grabenbildung als solche sind im Grunde drei bereits von CLOOS (1936, S. 410) als Möglichkeit aufgeführte Versionen weiterhin aktuell: Einbruch infolge achsenparallelen Druckes, Einbruch im Scheitel eines Gewölbes und Einbruch infolge horizontaler Dehnbeanspruchung.

a) Grabeneinbruch infolge achsenparallelen Druckes

In letzter Zeit wird diese Vorstellung vor allem von ILLIES (1974, 1975 etc.) bzw. ILLIES & GREINER (1976) vertreten. Die Rolle, welche hierbei eine gleichzeitig angenommene Mantelaufwölbung mit Scheiteleinbruch spielt, ist nicht ganz zweifelsfrei, doch wahrscheinlich dahingehend zu verstehen, daß sie sich unmittelbar im Gefolge einer durch achsenparallelen Druck bedingten Art von Spaltenöffnung entwickelt.

Verantwortlich für die Rheingrabenbildung war nach diesen Autoren das mesozoisch-frühtertiäre, NNE-gerichtete Streßfeld der generellen Kollisionsfront von europäischer und afrikanischer Platte (z. B. ILLIES 1974, S. 452). In spätertertiärer und rezenter Zeit habe dann die örtliche Kollision im zentralen Alpengürtel das tektonische Geschehen mit einem NW-gerichteten Streßfeld bestimmt. Hiervon soll jedoch zunächst noch nicht gesprochen werden.

Wiewohl der Gedanke eines achsenparallelen Druckes als Ursache der Grabenbildung im Prinzip nicht abzuweisen ist und zumindest östlich des Rheingrabens sogar durch bevorzugt auf NNE-SSW-gerichteten Druck eingestellte Horizontal-Stylolithen, Klüfte, Längsrippungen etc. recht gut gestützt erscheint (vgl. WAGNER 1964, 1967, BEIERSDORF 1969), gibt es dennoch Vorbehalte.

Aus den Literaturangaben läßt sich keine einheitliche Kollisionsfront ableiten, die seit dem frühen Mesozoikum zwischen Afrika und Europa geherrscht habe, und auch keine WNW-ESE-Spur, die sie notwendigerweise eingehalten haben müßte — am wenigsten, wenn man jüngere Untersuchungen bzw. Darstellungen zu Rate zieht (vgl. u. a. DERCOURT 1970, DEWEY et al. 1973, SMITH 1971 etc.). Andererseits ist der Rheingraben Teil eines größeren Systems von Grabenabschnitten zwischen Nordsee und Mittelmeer, die nach ILLIES (1974 a, S. 455) ihrerseits nur den Appendix einer interkontinentalen Riftstruktur darstellen, der sowohl die ostafrikanischen Gräben als auch das Tote Meer angehören. In solcher Dimension wird es weitaus schwieriger, diesen oder ähnliche Riftgürtel etwa im Ostpazifik, Atlantik, Indik als Folgeerscheinung von Plattenkollisionen anzusprechen, zumal sie für gewöhnlich gerade als deren Ursache gelten.

Nichtdestoweniger bleibt das Argument, wonach Stylolithen, Klüfte, Längsrippungen etc. von mesozoischen Gesteinen im östlichen Rahmen des Rheingrabens auf einen NNE-SSW-Druck schließen lassen. In diesem Punkte ist weniger ein Einwand als eine Alternative beizubringen; es sei denn, man würde sich SCHÖNENBERG (1973) anschließen, der in den NNE-Stylolithen „Schrägstylolithen“ und „Nadelharnische“ von Blattverschiebungen vermutet.

Horizontal-Stylolithen können syn- und postdiagenetisch entstehen. Längsrippungen und Längsplättungen werden als Bildungen eines wahrscheinlich noch unverfestigten Materials angesehen (BEIERSDORF 1969, S. 254), wodurch sogar die Möglichkeit gegeben ist, daß Längsplättungen auf Lösungsvorgänge an den Stylolithen zurückgehen. Jedenfalls sind die Stylolithen nach WAGNER (1964, S. 255) und BEIERSDORF (1969, S. 24—226) älter als die postliasischen bzw. jungkimmerischen Dislokationen. Zumindest für einen Teil der NNE- und

NW-streichenden Klüfte ließ sich vor-ober-oligozänes Alter nachweisen, wobei die NW-streichenden Klüfte, an denen sich die Stylolithen bevorzugt ausprägen — soweit faßbar — zu den ältesten zählen. Daraus leitet sich die Möglichkeit, wenn nicht Wahrscheinlichkeit ab, daß die genannten Strukturen der süddeutschen Scholle insgesamt weitgehend syn- bis spätdiagenetische Bildungen sind und somit mehr sedimentationsbedingten als tektonischen Gesetzmäßigkeiten gehorchen. Das unter Auflastdruck stehende Material würde gewisse mechanische Ausweichmöglichkeiten gegen die geringermächtigen Ränder des Beckens besitzen, weniger aber in dessen Längsrichtung. Hier müßten Material-Ausgleichsbewegungen über Drucklösungen, d. h. Stylolithenbildung erfolgen. Vielleicht ist eine andersartige Trog-Gestaltung der westlich des Grabens gelegenen Becken Ursache der dort (bei Nancy) nach NW tendierenden Stylolithen.

Demgemäß wäre ein NNE-Druck zur Erklärung dieser Strukturen nicht zwingend erforderlich, und die Beckenbildung ließe sich ebensowohl auf Dehnungsvorgänge zurückführen. Senken wie die hessisch-südwestdeutsche werden auch sonst mehrheitlich als aktive Zerrstrukturen aufgefaßt. Hierfür spricht im vorliegenden Fall zudem, daß die klein-dimensionalen Strukturelemente jeweils orthogonale Äquivalente (wenngleich in schwächerer Ausprägung) aufweisen, und der Hessischen Senke im NE die quer verlaufenden Tröge des saxonischen Beckens und der Polnischen Furche (vgl. u. a. WURSTER (1965, ZIEGLER 1975) vorgeschaltet sind. Sie besitzen gleiches Alter und gleiche Dimension. Beide hätte ein mesozoischer NNE-Druck nicht achsenparallel, sondern an der Breitseite getroffen und damit ihre (teils bis in die Kreide andauernde) Existenz frühzeitig unterbinden müssen.

b) Grabeneinbruch im Scheitel eines Gewölbes

Diese Vorstellung nimmt in der Literatur eine vorrangige Position ein, zumal sie Bestand der heute mehrheitlich vertretenen Hypothese vom Ocean Floor Spreading ist. Der Rheingraben wäre danach nur das Frühstadium einer Struktur vom Typ des Roten Meeres oder letztlich des Atlantiks.

BARANYI, LIPPOLT & TODT (1976) vermuten aufgrund absoluter Altersbestimmungen an Vulkaniten und deren isochroner Anordnung (vgl. auch LIPPOLT, TODT & HORN 1974), daß sich eine erste Mantelaufwölbung bereits in der Kreidezeit — und zwar gleichzeitig im N und S des Oberrheingrabens — bemerkbar macht. Dieser Vulkanismus bleibt zunächst auf das spätere Grabengebiet beschränkt, breitet sich jedoch in der Folgezeit ständig weiter nach den Seiten hin aus, um letztlich (im oberen Miozän) den Hegau zu erreichen. Entsprechend soll sich auch die Mantelaufwölbung erweitert und den Scheiteleinbruch gefördert haben. Gegen diese Vorstellung eines sich im gesamten Oberrheingrabengebiet gleichmäßig und gleichzeitig lateral ausbauenden Manteldrückens sei vorläufig nur eingewandt, daß das graben-tektonische Geschehen keineswegs eine solche Einheitlichkeit nachzeichnet. Das hat vor allem auch ILLIES immer wieder herausgestellt (vgl. unten).

BURKE & DEWEY (1973, insbesondere S. 409, 411) schreiben von einer Triple Junction im Raum Frankfurt, d.h. einer Struktur, wie sie nach diesen Autoren typisch über Mantelbeulen aufzureißen pflegt. Sicherlich stimmt das Muster der drei tektonischen Grabenäste (niederrheinischer, hessischer und oberrheinischer Abschnitt) geometrisch mit einer Junction der oben angeführten Art überein, doch sind ansonsten eher Widersprüche als Übereinstimmungen festzustellen. So ist die bezeichnete Region nur durch einen dort ausklingenden schwachen Mantelrücken gekennzeichnet (MEISSNER & VETTER (1974) und außerdem wachsen die Grabenäste eher auf die Frankfurter Junction zu als von ihr auszugehen (d.h. nach NW und nach SSW sind die entfernter gelegenen Grabenabschnitte älter als die benachbarten).

CLOOS (1939) meint demgegenüber, daß die Verzweigung der Grabenstrukturen nicht im Zentrum, sondern am Rande von Gewölben erfolge, wobei seine bekannte Darstellung des Rheinischen Systems (S. 447, Abb. 25) ebenso im Sinne des Hot Spots von BURKE & DEWEY aufgefaßt werden könnte. Die angeführten Einwände gegen eine Triple Junction stehen auch dem Modell von CLOOS entgegen. Nach WUNDERLICH (1957, S. 404) würden außerdem die anzunehmenden Dehnbeträge völlig unrealistische Aufwölbungsbeträge erfordern.

ILLIES (1972; 1974 a, S. 435; 1974 b, S. 15 etc.) macht - im Gegensatz zu obigem - darauf aufmerksam, daß die Mantelaufwölbung unter dem Oberrheingraben im Laufe des Tertiärs von S nach N gewandert sei, wie man an der Verlagerung von Schulterhebung und Riftabsenkung erkennen könne (Schwerpunkts-Absenkung bis zum unteren Oligozän im südlichen, bis zum oberen Oligozän im mittleren und bis ins untere Miozän bzw. erneut zum oberen Pliozän im nördlichen Abschnitt). Die insgesamt mächtigste Grabenfüllung bzw. die größte Grabenabsenkung (da ausschließlich flachmarine bis terrestrische Ablagerungen vorliegen) ist im mittleren bis nördlichen Abschnitt zwischen Karlsruhe und Darmstadt anzutreffen. Was nun die gegenwärtig seismisch faßbare Mantelwölbung angeht, welche ursächlicher Faktor der Grabengestaltung sein soll, so formt sie unter Südvogesen und Hochschwarzwald eine herausragende Kuppel (Zentrum am Kaiserstuhl; Moho-Diskontinuität = 24 km), deren Isobathen nach N rasch auf den unmittelbaren Grabenbereich einschwenken. Diejenige von 27 km stößt dabei bis in die Gegend von Heidelberg vor (Rhinegraben Research Group 1974), während diejenige von 28 km mit schmaler Zunge noch über die Taunus-Störung hinweg (!) geradlinig bis in die Gegend des Westerwaldes reicht (MEISSNER & VETTER 1974).

Die allgemein angenommene Beziehung, derzufolge das Ausmaß der Grabenabsenkung vom Grad der Mantelwölbung abhängt, wäre demnach im Oberrheingraben nicht gegeben. Die Region sehr geringer Moho-Aufbiegung fällt ausgerechnet mit dem Bereich stärkster Absenkung zusammen. Bemerkenswert ist außerdem, daß die spätere, vom Miozän bis heute andauernde taphrogene Aktivität ganz überwiegend im N, die wesentliche Mantelstruktur aber gerade im S hervortritt.

Schließlich wird die Hessische Senke — wohl mit Recht — allgemein (vgl. u. a. RICHTER-BERNBURG 1974, ILLIES 1974 a) als eine Struktur betrachtet, die denselben Bildungsbedingungen unterlag, wie der in sie eingebettete Grabenschnitt; selbst der räumliche Bezug habe eine gemeinsame genetische Ursache. Charakteristische Wölbungen sind offensichtlich nicht vorhanden (vgl. u. a. WUNDERLICH 1957, S. 404) und auch die Begrenzung der Kreideverlandung hat nach allen paläogeographischen Karten einen von den genannten Strukturen völlig unabhängigen Verlauf.

c) Grabeneinbruch infolge horizontaler Dehnung

Rein horizontale Dehnung als grabenbildender Antrieb wird heutzutage kaum vertreten. Nur FUCHS (1974) legt ein Modell vor, welchem man eine solche Intention unterstellen kann. Er geht eingangs von einer normalen Dehnung aus, bei der vor allem dem stärker und allgemeiner ausgeprägten der beiden krustalen Lower Velocity Layers (vgl. ANSORGE, EMTER, LAUER, MUELLER & PETERSCHMITT 1970) tragende Bedeutung zukommt. Zugkräfte führen zu einer Einschnürung des schwächsten Teiles im Krustenblock, eben dem genannten Lower Velocity Layer (in etwa 10—20 km). Das kompetente Überlager sackt, dank seiner größeren Schwere, passiv nach, bis die durch Dehnung entstandenen Lücken geschlossen sind. Gleichzeitig heben sich die Rahmenblöcke heraus und bilden mit dem Grabenteil einen gewölbartigen Bogen von 100—200 km Ausdehnung. Unter ihm wird die tiefere Kruste vom Druck des Grundgebirges und seines sedimentären Auflagers entlastet. Dadurch wiederum bläht sich der „Low Velocity-Kanal in der tieferen Lithosphäre“ (S. 430) unter Anhebung der Kruste-Mantel-Grenze auf. Die tektonische Aktivität äußert sich zunehmend in einem aufwärtigen Massen- und Energie-Export des oberen Mantels bzw. die Wirkung der oberflächen-nahen horizontalen Zugkräfte werden in steigendem Maße von den vertikalen Effekten der Tiefe überlagert. Ab diesem Stadium erfolgen Reaktionen, die mit denen des Modells eines Scheitel-Einbruchs übereinstimmen. Am Ende seiner Darlegungen läßt FUCHS durchblicken, daß seine Vorstellung die Plattenkollision von Afrika-Europa als ursächlichen Bildungsfaktor einschließt. Ihre Druckwirkung rufe einen Zustand hervor, bei dem die Zugkräfte senkrecht zum Graben „dominierten“.

Diese Konstruktion wird allenthalben auf Bedenken stoßen und läßt einen auch im Ungewissen, ob das Modell damit nicht eigentlich den „Einbrüchen infolge von achsenparallelem Druck“ zuzuordnen sei. Desgleichen bereitet es Schwierigkeiten, sich den isolierten initialen Angriff der Kräfte auf das schwächste Glied inmitten des Krustenverbandes vorzustellen. Andererseits werden von FUCHS eine Reihe interessanter Aspekte angesprochen, etwa die stockwerkbedingt unterschiedlichen Reaktionen oder die Auslösung vertikal aufwärtiger Kräfte durch primär horizontale Beanspruchung. Diese Gedanken hat auch schon der Verfasser angesprochen (vgl. MAASS 1970, 1974) und sie sollen in dessen nachfolgendem Beitrag weiterhin zur Sprache kommen.

Nach eigenem Dafürhalten sind echte tangentielle Zugkräfte als Ursache der Graben- bzw. Riftbildung anzusehen. Dabei wird eher an global wirkende Vorgänge wie Rotation, Gezeiten etc. gedacht als an primär vom Erdinneren her ansetzende Faktoren. Sie sind heute glaubhafter als zu Zeiten WEGENERS, da man mit dem reibungsarmen Lower Velocity Layer der Asthenosphäre eine geeignetere Gleitzone kennt, als es seinerzeit die reibungsintensive Fläche der Moho-Diskontinuität war. Die genannten Vorgänge erfassen die gesamte Lithosphäre, lassen ihre Äußerungen auch seismisch nur bis in den obersten Mantel und magmatisch — weniger deutlich — bis in die Asthenosphäre verfolgen. Die Folgestrukturen (Becken- und Grabensenkungen etc.) müssen kein richtungsparalleles, präexistentes Schwäche- bzw. Flächensystem zur Voraussetzung haben, vielmehr wird (für den Normalfall) an eine weitgehend unregelmäßige Verteilung von Inhomogenitäten gedacht, die sich bei Eintreten eines Spannungsplanes zu Schwächezentren und -zonen unterschiedlichen Ausmaßes akkumulieren können. Diese Schwächezentren oder -zonen können in einer geraden, konsequent zum Kräfteplan orientierten Linie gereiht sein oder zu gleicher Zeit realisiert werden; dies ist jedoch keineswegs zwingend. So sieht der Verfasser an dem allmählichen Ausbau des Oberrheingrabens in NNE-Richtung (Eozän-Oligozän im S, Miozän im N) und der NW-SE-gerichteten, vom Siebengebirgsvulkanismus begleiteten oligo-miozänen Anlage der Niederrheinischen Bucht (vgl. TEICHMÜLLER 1974) nichts Ungewöhnliches. Eine künftige, geschlossene Grabenverbindung zwischen beiden Strukturen wird möglicherweise durch die Zone seismischer Aktivität im Rheinischen Schiefergebirge (zwischen Köln und Mainz) signalisiert. Die Vermutung von ILLIES & GREINER (1976 u. a. Arbeiten), daß die unterschiedliche Ausrichtung von Grabenästen eines Systems spezifische Änderungen des Beanspruchungsplanes erfordern, steht hierzu freilich in Widerspruch. Im Einklang damit stellen aber PILGER & RÖSLER (1976) die einheitlich obereozäne Initialphase der Verzweigung von Rotem Meer — Golf von Suez — Totem Meer heraus und sehen ebensowenig Anlaß, die Gabelungen im Afargebiet oder um den Victoriasee auf wechselnde Druckpläne zurückzuführen. Gleiches kann man für die Triple Junctions ozeanischer Riftsysteme geltend machen.

Andererseits weisen im Oberrheingrabengebiet die gegenwärtigen Herdflächenlösungen (z. B. AHORNER & SCHNEIDER 1974) und In-Situ-Streßmessungen (GREINER 1974 etc.) vorwiegend NNW- bis NW-streichende Druckkomponenten auf. Sie sollen (vgl. u. a. ILLIES & GREINER 1976) seit dem oberen Miozän den älteren, grabenbildenden NNE-Plan abgelöst und die rheinischen Verwerfungen zu diagonalen linkshändigen Blattverschiebungen umfunktioniert, die NE-streichenden fränkischen Brüche aber zu rechthändiger Horizontalbewegung veranlaßt haben. Dagegen beschreibt SCHRÖDER (1976) vom Ostrand der Süddeutschen Scholle dominant NW-streichende raumausweitende Strukturen, die seit Ende Jura episodisch aktiv seien und zu denen sich ab Ende Oberkreide zunehmend (aber doch untergeordnet) E- und NE-Richtungen gesellen würden. Auch führte das Detailstudium der Bewegungen an Oberrheingraben-Störungen selbst ILLIES & GREINER (1976, S. 8—16) zu einer Komplexität,

die ebenso andere Deutungen als die ihrigen zuließe. Überhaupt müssen Dehnungen an Gräben bzw. Riften nicht bedeuten, daß die auseinanderweichenden Platten intern ebenfalls unter Zugspannung parallel der Drift stehen. Reibungswiderstände durch Inhomogenitäten im Untergrund wandernder Platten, das Auftreten negativer Beschleunigungen bei Unterströmungen (durch Abbiegungen, Turbulenzen etc.), der Reibungswiderstand an Subduktionszonen und ähnliche, in der Literatur durchaus schon angesprochene Umstände können in beachtlichen Plattenbereichen Druckspannungen gleicher, ja sogar schief dazu stehender Orientierung hervorrufen. SCHÖNENBERG (1973) und STROBACH (1974) z. B. vertreten dementsprechend — wenn auch in unterschiedlichen Modellen — beide die Ansicht, daß die Platten zu Seiten des Rheingrabens ungeachtet ihrer NW-SE-Dehnbewegung gleichzeitig ebenso gerichteten Druckspannungen ausgesetzt sind. Schließlich aber sollte man nicht außer Acht lassen, daß es sich um Messungen gegenwärtiger Streßwirkungen handelt, deren Projektion in die Vergangenheit ohne weiteren Beleg nur vermutbar ist. Angesichts dieser Situation sieht der Verfasser keinen Grund, seine Auffassung einer auch im Mio-Pliozän noch anhaltenden Dehnbewegung des Rheinischen Systems zurückzustellen.

Die Konfiguration der Moho-Diskontinuität, wie sie von der RHINEGRABEN RESEARCH GROUP (1974), ILLIES (1974b) u. a. dargestellt wird, zeigt, daß im S des Oberrheingrabens (Kaiserstuhl-Region) eine deutliche und breite (über Schwarzwald und Vogesen ausschwingende) Kuppelform vorliegt, die nach N rasch abklingt und schon bei Karlsruhe und Heidelberg nur mehr eine sanfte, auf das Grabengebiet selbst konzentrierte, längsgestreckte Schwelle darstellt. Diese Struktur ist nicht geeignet, die Oberrheingrabenbildung ursächlich zu erklären. In solchem Falle müßte man erwarten, daß gerade im Nordabschnitt des Grabens, d. h. dem Ort seiner stärksten Absenkung, auch die Mantelwölbung (= „Pillow“) ihre markanteste Ausprägung besitzen würde. Andererseits handelt es sich offensichtlich um eine graben-bezogene Struktur. Ein kausaler Zusammenhang ergibt sich in der Tat zwanglos, wenn man die Moho-Wölbung nicht als Ursache der Grabenbildung, sondern als deren Folgerscheinung betrachtet. So gesehen ist sie dort besonders stark entwickelt, wo die Graben-Absenkung zuerst einsetzte.

Diese Feststellungen fügen sich zu der Ansicht, daß es horizontale Zugkräfte sind, die in der Lithosphäre primär Dehnreaktionen hervorrufen, und daß die Riftanlage im allgemeinen nicht mit einem Mal vorliegt, sondern von einzelnen Zentren oder Zonen ausgeht, die aufeinander zuwachsen und damit allmählich das spätere, oft komplexe System erstellen (vgl. u. a. die Riftentwicklung im Atlantik). Dabei kommt es — je nach Stockwerk — zu unterschiedlichen Reaktionen. Es ist eine geologische und durch das Experiment belegte Tatsache, daß bei Streßbedingungen (mögen sie auch auf Zug zurückgehen) in der Tiefe für gewöhnlich plastischere Reaktionen erfolgen. Außerdem zeigen die Low Velocity Layers von ANSORGE et al. (1970), daß noch innerhalb der Kruste 1 bis 2 Zonen wahrscheinlich mobilieren (bzw. inkompetenteren) Zustands vorliegen. Bei ihrer horizontal-flächigen Anlage und dem recht einheitlich zusammengesetzten, vielfach

bis an die Oberfläche reichenden Gneissockel (im Oberrheingebiet) ist nicht anzunehmen, daß sie Materialunterschieden zu danken seien. Somit werden die Dehnbewegungen in der Tiefe bevorzugt plastisches Materialzergleiten im Sinne einer Plättung hervorrufen, an der Oberfläche aber elastische Verbiegung oder Bruch (vgl. daß nach DOHR 1957 keine Rheingraben-Verwerfungen tiefer als 7 km zu fassen waren, das obere, beständigere krustale Low Velocity Layer aber bereits mit 10 km einsetzt). Plastische wie elastische Reaktionen sorgen dafür, daß ein drohender Hohlraum unmittelbar verfüllt und das Material auf einen größeren Raum verteilt wird. Dadurch kommt es im Grabenbereich — von örtlichen Ausnahmen überdosierter seitlicher Materialzufuhr oder möglichen Schmelzprozessen abgesehen — generell zu Mächtigkeits-Reduktionen (vgl. auch MAASS 1970, 1974).

Für die Art des Abbruches über einer weitgehend eben zergleitenden Unterlage ist interessant, daß die Darstellungen von BARTZ (1974), DOEBL (1970), DOEBL & OLBRICHT (1974) und WIRTH (1970) immer wieder vorhandene Tendenzen zu besonders starken ein- oder auch beidseitigen Randabsenkungen aufzeigen. Sie wurden im Schrifttum bisher eher als ungewöhnliche Besonderheiten der Grabenbildung empfunden, doch sei diesbezüglich an die Versuche von MURAWSKI (1969) erinnert. Sie haben ebenfalls betonte ein bis beidseitige Randabsenkungen ergeben, und ihre Gesamtdarstellungen gleichen geradezu natürlichen Abbildern von Rheingrabenprofilen. Außerdem ist hervorzuheben, daß MURAWSKIs Versuchsanordnung (seitliches Auseinanderweichen von Rahmenblöcken über einer ebenen Unterlage) dem hier angenommenen Vorgang sinngemäß gleichkommt. Andererseits wäre bei Scheiteleinbrüchen die Bildung charakteristischer Randabsenkungen behindert, da dann ein Grabenkeil in die entstehende Kerbe sacken würde, um dort (unter dem Druck des Eigengewichtes stehend) eingeklemmt stecken zu bleiben.

Nunmehr zurück zum Stockwerkprozeß. Die Mächtigkeitsminderung im krustalen Bereich bedeutet Druckentlastung im Untergrund. Wie schon an anderer Stelle beschrieben (MAASS 1970, 1974), dürfte dies die Ursache magmatischer Aufschmelzungen und Effusionen, aber auch Grund einer Mineral-Phasenumwandlung zu Niederdruck-Modifikationen im oberen Mantel sein. Dieser Vorgang wäre verantwortlich für die bekannte Pillow-Struktur und als exothermer Prozeß auch für die erhöhte Wärmezufuhr im Grabengebiet. Zum Vulkanismus ist hinzuzufügen, daß erste Äußerungen häufig schon mit Druckentlastungen frühester Zerrbeanspruchung zusammenfallen, d.h. noch bevor sonstige erkennbare bzw. erhaltungsfähige geologische Ereignisse eintreten. Das Verhalten der tieferen Lithosphäre läßt sich mangels faßbarer Veränderungen nicht beschreiben.

Was die Mantelaufwölbungen im Untergrund ozeanischer Riffe anlangt, so scheint es durchaus möglich, für sie eine ähnliche Entwicklung anzunehmen. Teils mögen sie primär auf ozeanischer Kruste gebildet worden sein, teils aber auch eine kontinentale Vorgeschichte besitzen. Konsequente Dehnung — mit ebenso konsequenter Ausdünnung — würden in diesem Fall eine dauernde Tieferlegung des kompetenten Bereiches (mit Brüchen) veranlaßt haben. Bei Eintreten (oder

Vorliegen) des ozeanischen Stadiums zieht der Mangel an sialischem Reaktionsmilieu sowie die Lage unter NN eine rasche vorwiegend aszendente (vulkanische) statt laterale oder deszendente (sedimentäre) Verfüllung des Dehnbezirks nach sich. Im ozeanischen Milieu ist somit kaum noch fortschreitende Verdünnung und wenig echte Grabenbildung gegeben. Unmittelbar ausheilende Risse herrschen vor. Vielleicht gäbe ein detaillierter Vergleich der Dimensionen kontinentaler bzw. ozeanischer Gräben und Pillows jeweils für sich und miteinander weitere Aufschlüsse. Hier sei nur noch ein Aspekt angesprochen, nämlich das Problem der Segmentierung von Riftabschnitten (durch Transform-Faults). Sofern der Motor ihrer Bildung — wie meist — aus der mobilen Tiefe bezogen wird (aufwärtiger einfacher oder divergenter Asthenosphärenstrom), bleibt stets die Frage offen, weshalb diese (von der Oberfläche unabhängigen (!) Tiefenvorgänge in mobilem Milieu dauerhaft gegeneinander versetzt ablaufen, ja sich sogar entsprechend den Oberflächenstrukturen verlagern (z. B. Erweiterung des Atlantik-Indik-Riftes um Afrika), statt allenfalls unter diesen abzuwandern und neue Anlagen aufzubauen. Die Mantelaufwölbung im hier vorgeschlagenen Sinn (d. h. als Folgeerscheinung) würde dieser Problematik nicht ausgesetzt sein; sie müßte sich nach Lage und Dimension an der Oberflächenstruktur orientieren.

Schriftenverzeichnis

- AHORNER, L. (1970): Seismo-tectonic relations between the graben zones of the upper and lower Rhine Valley. — In „Gaben Problems“, I. U. M. P., Sci. Rep. 27, 155—166 Stuttgart.
- AHORNER, L., & SCHNEIDER G. (1974): Herdmechanismen von Erdbeben im Oberrhein-Graben und in seinen Randgebirgen. — In „Approaches to Taphrogenesis“, I. U. C. G., Sci. Rep. 8, 104—117, Stuttgart.
- ANSORGE, J., EMTER, D., FUCHS, K., LAUER, S. P., MUELLER, S., & PETERSCHMITT, E. (1970): Structure of the crust and upper mantle in the rift system around the Rhinegraben. — In „Gaben Problems“ I.-U. M. P., Sci. Rep. 27, 190—197, Stuttgart.
- BARANYI, I., LIPPOLT, H. J., & TODT, W. (1976): Kalium-Argon-Altersbestimmungen an tertiären Vulkaniten des Oberrhein-Graben-Gebietes: II. Die Alterstraverse vom Hegau nach Lothringen. — Oberrhein. geol. Abh. 25, 41—62, Karlsruhe.
- BARTZ, J. (1974): Die Mächtigkeit des Quartärs im Oberrhein-Graben. — In „Approaches to Taphrogenesis“, I.-U. C. G., Sci. Rep. 8, 78—87, Stuttgart.
- BEIERSDORF, H. (1969): Druckspannungsindizien in Karbonatgesteinen Süd-Niedersachsens, Ost-Westfalens und Nord-Hessens. — Geol. Mitt. 8, 217—262, Aachen.
- BURKE, K., & DEWEY, J. E. (1973): Plume generated triple junctions; key indicators in applying plate tectonics to old rocks. — J. Geol. 81, 406—433, Chicago.
- CLOOS, H. (1936): Einführung in die Geologie. — 503 S. Berlin.
- (1939): Hebung-Spaltung-Vulkanismus. — Geol. Rdsch. 30, 401—525, Stuttgart.

- DEWEY, J. F., PITTMAN, W. C. III, RYAN, W. B. F., & BONNIN, J. (1973): Plate tectonics and the evolution of the Alpine System. — *Geol. Soc. Amer. Bull.* **84**, 2137—2180, Boulder.
- DERCOURT, J. (1970): L'expansion océanique actuelle et fossile; ses implications géotectoniques. — *Bull. Soc. Géol. France* (7), **12**, 261—317, Paris.
- DOEBL, F. (1970): Die tertiären und quartären Sedimente des südlichen Rheingrabens. — In „Graben Problems“ I.-U.M.P., *Sci. Rep.* **27**, 56—66, Stuttgart.
- DOEBL, F., & OLBRECHT, W. (1974): An isobath map of the tertiary base in the Rhinegraben. — In „Approaches to Taphrogenesis“ I.-U.C.G., *Sci. Rep.* **8**, 71—72, Stuttgart.
- DOHR, G. (1957): Zur reflexionsseismischen Erfassung sehr tiefer Unstetigkeitsflächen. — *Erdöl u. Kohle* **10**, 278—281, Hamburg.
- FUCHS, K. (1974): Geophysical contributions to taphrogenesis. — In „Approaches to Taphrogenesis“, I.-U.C.G., *Sci. Rep.* **8**, 420—432, Stuttgart.
- GREINER, G. (1974): In situ stress measurements in South-west Germany. — In „Approaches to Taphrogenesis“, I.-U.C.G., *Sci. Rep.* **8**, 118—121, Stuttgart.
- (1976): In situ Spannungsmessungen und tektonischer Beanspruchungsplan in Südwestdeutschland. — *Geol. Rdsch.* **65**, 55—65, Stuttgart.
- HILLER, W., ROTHE, J. P., & SCHNEIDER, G. (1967): La seismité du fosse Rhenan. — *Abh. geol. Land. amt Bad. Württ.* **6**, 98—100, Freiburg i.Br.
- ILLIES, J. H. (1965): Kontinentalverschiebungen und Polverschiebungen-Ursachen und Probleme. — *Geol. Rdsch.* **54**, 549—579, Stuttgart.
- (1967a): Development and tectonic pattern of the Rhinegraben. — *Abh. Geol. Land. amt Bad. Württ.* **6**, 13—15, Freiburg i.Br.
- (1967b): An attempt to model the Rhinegraben tectonics. — *Abh. geol. Land. amt. Bad.-Württ.* **6**, 10—12 Freiburg i.Br.
- (1972): The Rhinegraben rift system — plate tectonics and transform faulting. — *Geophys. Surv.* **1**, 27—60.
- (1974a): Taphrogenesis and plate tectonics. — In „Approaches to Taphrogenesis“, I.-U.C.G., *Sci. Rep.* **8**, 433—460, Stuttgart.
- (1974b): Intra-Plattentektonik in Mitteleuropa und dem Rheingraben. — *Oberrhein. Geol. Abh.* **23**, 1—24, Karlsruhe.
- (1975): Intraplate tectonics in stable Europe as related to plate tectonic in the Alpine system. — *Geol. Rdsch.* **64** 617—699, Stuttgart.
- ILLIES, J. H., & GREINER, G. (1976): Regionales Stress — Feld und Neotektonik in Mitteleuropa. — *Oberrhein. Geol. Abh.* **25**, 1—40, Karlsruhe.
- KNETSCH, G. (1965): Über ein Struktur-Experiment an einer Kugel und Beziehungen zwischen Groß-Lineamenten und Pol-Lagen in der Erdgeschichte. — *Geol. Rdsch.* **54**, 523—548, Stuttgart.
- (1967): Changing tectonic rôles of the upper Rhine lineament in the course of geological times and events. — *Abh. geol. Land. amt. Bad.-Württ.* **6**, 13—15, Freiburg i.Br.
- (1969): Über Funktions-Wechsel des Rheinischen Lineaments und die Entstehung des Oberrhein-Grabens. — *Z. deutsch geol. Ges.* **1966**, **118**, 222—235, Hannover.

- LIPPOLT, H.J., TODT, W., & HORN, P. (1974): Apparent Potassium-Argon ages of lower tertiary Rhinegraben volcanoes. — In „Approaches to Taphrogenesis“, I.-U.C.G., Sci. Rep. 8, 213—221, Stuttgart.
- MAASS, R. (1970): Überlegungen zur Bildung von Gräben und Geosynklinen. — N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 153—162, Stuttgart.
- (1972): Zur Beziehung zwischen Verwerfungen und Kluftsystemen im südlichen Oberrhein-Grabengebiet. — N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 660—677, Stuttgart.
- (1974): Zur Tectogenese. — N. Jb. Geol. Paläont. Mh. 685—701, Stuttgart.
- MEISSNER, D., & VETTER, V. (1974): The northern end of the Rhinegraben due to some geophysical measurements. — In „Approaches to Taphrogenesis“ I.-U.C.G., Sci. Rep. 8, 236—243, Stuttgart.
- MUELLER, S., PETERSCHMITT, E., FUCHS, K., & ANSORGE, S. (1969): Crustal structure beneath the Rhinegraben from seismic refraction and reflection measurements. — *Tectonophysics* 8, 529—542, Amsterdam.
- MUELLER, S., & RYBACH, L. (1974): Crustal dynamics in the central part of the Rhinegraben. — In „Approaches to Taphrogenesis“ I.-U.C.G., Sci. Rep. 8, 379—388, Stuttgart.
- MURAWSKI, H. (1969): Bruchtektonik mit modifizierter Bruchbildung. — *Geol. Rdsch.* 59, 193—212, Stuttgart.
- PFANNENSTIEL, M. (1927): Vergleichende Untersuchungen der Grund- und Deckgebirgsklüfte im südlichen Odenwald. — *Ber. Naturf. Ges. Freiburg i.Br.* 27, 1—98 (Diss.) Freiburg i.Br.
- (1934): Die Geologie des Kaiserstuhles. — In „Der Kaiserstuhl“ Bad. Landesver. Naturk., Natursch. N.F. 3, 65—88, Freiburg i.Br.
- (1934): Der Tertiärvulkan von Maleck bei Emmendingen. — *Mitt. Bad. Landesver. Naturk. Natursch. N.F.* 3, 36—37, Freiburg i.Br.
- (1934): Die vulkanischen Tuffe in der Umgebung des Kaiserstuhles. Ihre sedimentären Einschlüsse und ihre Altersstellung. — *Mitt. Bad. Landesver. Naturk. Natursch. N.F.* 3, 65—88, Freiburg i.Br.
- (1937): Ein badischer „Steinheimer Klosterberg“. Eine vulkanisch bedingte Aufpressung von Opalinuston in Haupttrogenstein bei Herbolzheim im Breisgau. — *N. Jb. Min. Geol. Beil.* B.77, 45—76, Stuttgart.
- PILGER, A. & RÖSLER, A. (1976): A far between continental and oceanic rifting. — I.-U.C.G., Sci. Rep. 16, 1—25, Stuttgart.
- RHEINGRABEN RESEARCH GROUP of explosion seismology (1974): The 1972 seismic refraction experiment in the Rhinegraben. — In „Approaches to Taphrogenesis“, I.-U.C.G., Sci. Rep. 8, 122—137, Stuttgart.
- RICHTER-BERNBURG, G. (1974): The Oberrhein Graben in its European and global setting. — In „Approaches to Taphrogenesis“ I.-U.C.G., Sci. Rep. 8, 13—43, Stuttgart.
- SCHÖNENBERG, R. (1973): Zur Tektonik des südwestdeutschen Schichtstufenlandes unter dem Aspekt der Plattentektonik. — *Oberrhein. geol. Abh.* 22, 75—86, Karlsruhe.
- SCHRÖDER, B. (1976): Saxonische Tektonik im Ostteil der Süddeutschen Scholle. — *Geol. Rdsch.* 65, 34—54, Stuttgart.

- SMITH, A. G. (1971): Alpine deformation and the oceanic area of the Tethys, Mediterranean and Atlantic. — *Geol. Soc. Amer. Bull.* **82**, 2239—2270, Boulder.
- STELLRECHT, R. (1958): Tektonik am Schloßberg bei Freiburg i. Br. — *Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br.* **48**, 119—138, Freiburg i. Br.
- STOBER, G. (1955): Kleintektonische Untersuchungen im Gebiet des Kaiserstuhls und des Limbergs. — *Diss. manuscr.* 71 S. Freiburg i. Br.
- STROBACH, K. (1974): Model of crustal stresses in the region of the Rhinegraben and southwestern Germany. — In „Approaches to Taphrogenesis“, I.-U.C.G. *Sci. Rep.* **8**, 389—394, Stuttgart.
- TEICHMÜLLER, R. (1974): Die tektonische Entwicklung der Niederheinischen Bucht. — In „Approaches to Taphrogenesis“, I.-U.C.G., *Sci. Rep.* **8**, 269—285, Stuttgart.
- WAGNER, G. H. (1964): Kleintektonische Untersuchungen im Gebiet des Nördlinger Rieses. — *Geol. Jb.* **81**, 519—600, Hannover.
- (1967): Druckspannungsindizien in den Sedimenttafeln des Rheinischen Schildes. — *Geol. Rdsch.* **56**, 906—913, Stuttgart.
- WEGENER, A. (1962): Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. — 231, S. Braunschweig (Nachdruck der 4. Auflage von 1929).
- WEGMANN, E. (1962): Spätphasen im Grundgebirge. — *Geol. Rdsch.* **52**, 169—184, Stuttgart.
- WIRTH, E. (1970): Das Eozän im deutschen Anteil der Rheinebene. — In „Graben Problems“, J.-U.M.P., *Sci. Rep.* **27**, S. 67—68, Stuttgart.
- WUNDERLICH, H. G. (1957): Tektogenese des Leinetalgrabens und seiner Randschollen. — *Geol. Rdsch.* **46**, 372—413, Stuttgart.
- WURSTER, P. (1965): Krustenbewegungen, Meeresspiegelschwankungen und Klimaänderungen der deutschen Trias. — *Geol. Rdsch.* **54**, 224—240, Stuttgart.
- ZIEGLER, P. A. (1975): Geologic evolution of North Sea and its tectonic framework. — *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* **59**, 1073—1097, Tulsa.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1977

Band/Volume: [67](#)

Autor(en)/Author(s): Maass Rudolf

Artikel/Article: [Ein Beitrag zum Problem der Rheingrabenbildung 161-174](#)