

# Das Bewegungsbild der Erdkruste

Von

NAZARIO PAVONI, Zürich

## Zusammenfassung

Das tektonische Bild der Erdkruste ist ein Bewegungsbild. Seine Entstehung wird durch die gegenseitige Einwirkung dreier rotierender Felder (siehe Abb. 1 und 2) zu erklären versucht. Diese drei Rotationsfelder sind:

1. Das Laurasia-Rotationsfeld
2. Das Pazifik-Rotationsfeld
3. Das Gondwana-Rotationsfeld

Die Rotationstheorie erklärt in einfacher Weise die gebirgsbildenden Vorgänge (Abb. 4 und 6). Sie steht in Übereinstimmung mit Geologie und Geophysik.

## Abstract

The tectonic feature of the earth's crust was performed by the interaction of three rotating fields (see Fig. 1 and 2):

- (1) The Laurasia-field of rotation
- (2) The Pacific-field of rotation
- (3) The Gondwana-field of rotation

The Theory of Horizontal Rotation clears up the way of mountain building (Fig. 4 and 6). It is in harmony with Geology and Geophysics.

## I. Einleitung

Die Untersuchungen rezenter tektonischer Veränderungen zeigen, dass horizontale Dislokationen (Blattverschiebungen, transcurrent faults) bei den heutigen tektonischen Vorgängen eine sehr bedeutsame Rolle spielen. Ein weiteres sehr eindrückliches Resultat tektonischer und seismischer Untersuchungen ist die Feststellung, dass sich solche horizontale Dislokationsspalten und -zonen in einigen Fällen nachgewiesenermassen über Hunderte von Kilometern erstrecken und dass der relative Verschiebungssinn auch sehr lange Zeiträume hindurch derselbe bleibt. Als Beispiele seien genannt: Das San Andreas-Verwerfungssystem und die nordanatolische Verwerfungszone. Es handelt sich um Verschiebungsbeträge von einem bis mehreren Metern in hundert Jahren.

Es schien uns ein recht spannendes Unterfangen, die in der Literatur stark

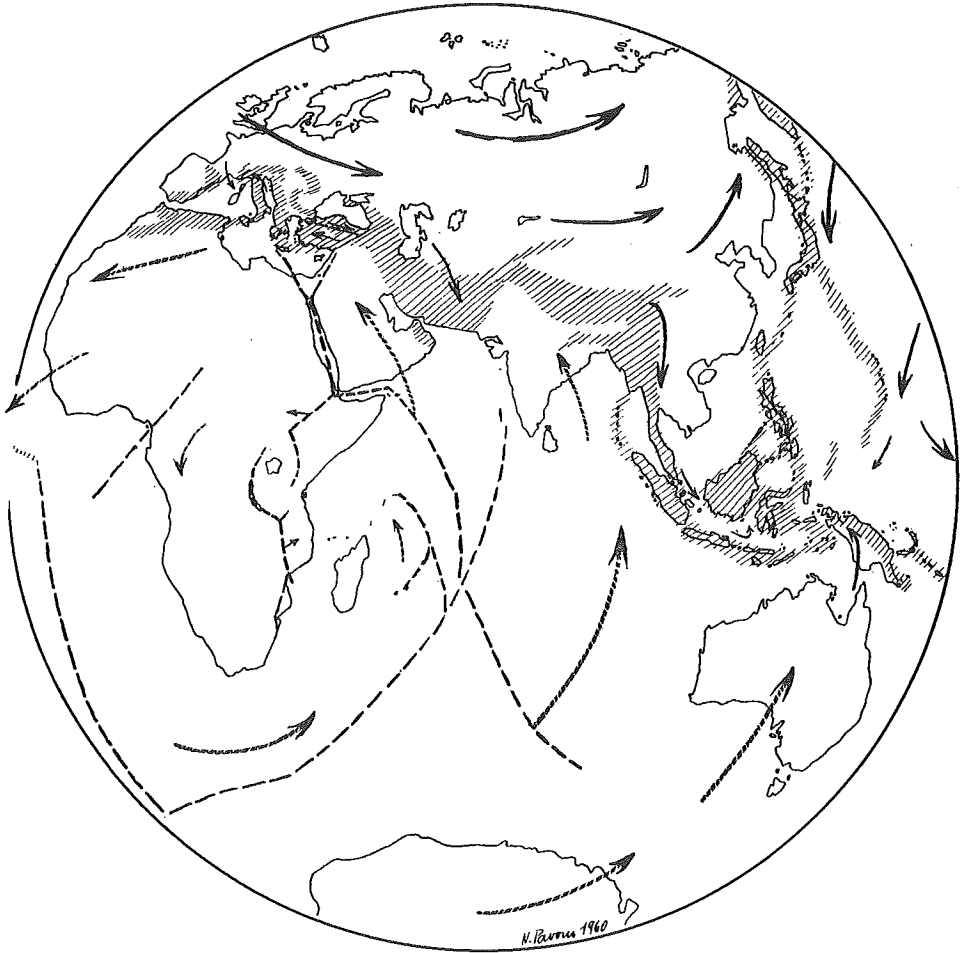


Abb.1 Das Bewegungsbild der Erde. Die Pfeile sollen die generelle Bewegungstendenz im betreffenden Krustenabschnitt andeuten.

zerstreuten tektonischen und seismo-tektonischen Beobachtungen nach Möglichkeit zu sammeln. Zusätzliche Resultate erhielten wir durch die in den letzten Jahren erfolgten Untersuchungen über den Herdvorgang auf Grund der Seismogrammanalyse. Diese Untersuchungen decken sich in vielen Fällen sehr schön mit den regionaltektonischen Untersuchungen.

## II. Geotektonik und Rotationsfelder der Erdkruste

Die rezenten tektonischen Veränderungen, die vertiefte Betrachtung von Geologie, Tektonik und physischer Geographie der Erde sowie die Anordnung



Schraffiert: Junge Gebirgsgürtel und Scherzonen. Gestrichelte Linien: Bruchzonen und grosse Blattverschiebungen.

der Erdbebenherde führten uns zur Auffassung, dass es auf der Erdoberfläche drei Grosseinheiten gibt, die in sich eine sehr langsame Drehbewegung ausführen und sich demzufolge relativ zu einander bewegen und verschieben (Abb. 1).

Die erste Einheit umfasst Nordamerika, Grönland, Nordatlantik, Europa, Innerasien, Nordasien, Ostasien und das nördliche Eismeer. Die zweite Einheit umfasst den Pazifik, die dritte Afrika, Südatlantik, Südamerika, Antarktis, Indik, Australien, Neuguinea, Indien und Arabien. Da die erste Einheit die Schollen Laurasiens, die dritte Einheit die Schollen des Gondwanalandes enthält, wurden die drei Rotationsfelder wie folgt benannt:

1. Das Laurasia-Rotationsfeld
2. Das Pazifik-Rotationsfeld
3. Das Gondwana-Rotationsfeld

Da es sich um relative Verschiebungen der drei Rotationsfelder gegeneinander handelt, kann zunächst nicht mit Sicherheit entschieden werden, ob tatsächlich alle drei oder nur zwei Felder rotieren.

Betrachten wir im folgenden die Rotationsfelder etwas näher: Der «Drehpunkt» des Laurasia-Feldes liegt im nördlichen Eismeer, das Drehzentrum des Pazifik-Feldes südlich der Hawaii-Inseln, etwa  $10^\circ$  NB und  $155^\circ$  WL, das Drehzentrum des Gondwana-Feldes etwa  $5^\circ$  SB und  $35^\circ$  EL. Die Lage dieser Drehzentren wurde zunächst einfach von Auge aus dem Bewegungsbild abgeleitet. Bei näherem Zusehen ergeben sich einige recht interessante Zusammenhänge:

1. Das pazifische Zentrum und das Gondwana-Zentrum liegen ziemlich genau  $180^\circ$  Längengrade auseinander.
2. Sie liegen beide punktsymmetrisch zum Erdmittelpunkt, etwa  $10^\circ$  nördlich und  $10^\circ$  südlich vom Äquator.
3. Pazifik- und Gondwana-Feld sind flächenmässig sozusagen gleich gross. Jede Einheit umfasst etwa  $120^\circ$  Breitengrade.
4. Pazifik-Zentrum und Gondwana-Zentrum sind Gebiete sehr starker vulkanischer Tätigkeit.

Wenn wir die geschilderten Verhältnisse idealisieren, bekommen wir ein Bild wie es in Abbildung 2 dargestellt ist. Das amerikanische Mittelmeer und seine Inselwelt liegen im «Schatten», das heisst im Bereich zwischen den drei Rota-

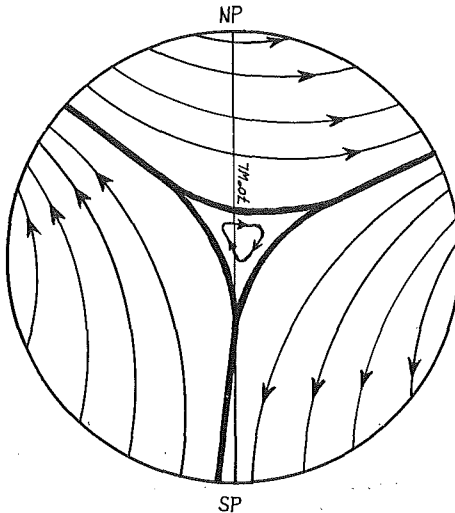


Abb. 2 Die drei Rotationsfelder der Erdkruste. Idealisiertes Schema.

tionsfeldern bei etwa  $70^\circ$  WL, der Malaiische Archipel punktsymmetrisch dazu auf  $110^\circ$  EL. Die Rotationszentren des Pazifik- und Gondwana-Feldes liegen nicht im Mittelpunkt der beiden Felder, sondern nordwärts verschoben. Die Rotationsfelder scheinen sich zudem in zentrale Partien und Randpartien mit verschieden starker Bewegungstendenz und -richtung zu gliedern.

Die Aussagen über die Lage der Drehzentren sind trotz dieser Gesetzmässigkeiten mit gebührender Vorsicht aufzunehmen. Das Bewegungsbild der Kruste an der Erdoberfläche widerspiegelt lediglich tiefere Vorgänge. Daher muss das heutige Drehzentrum keineswegs mit dem Durchstosspunkt der Drehachse des tieferen Rotationsfeldes zusammenfallen. In der Kruste selbst sind nur Bewegungen im Sinne von mosaikartigen Blockverschiebungen möglich. Passiv und träge werden Krustenteile entlang Verwerfungsspalten aneinander verschoben, aneinander vorbeigepresst, ineinander verkeilt oder auseinandergezerrt, ohne tatsächlich vollständig voneinander zu weichen. Die Erdkruste bildet ein geschlossenes Ganzes, innerhalb welchem transversale Verschiebungen möglich sind, ohne dass grössere Krustenteile verschwinden oder entstehen müssen. Angetrieben durch die Zirkulation unter der Kruste kommt es zu Blockverschiebungen in solcher Art und Weise, dass schliesslich diese Blockbewegungen zusammen als Resultierende die ursprüngliche unterlagernde Strömungsrichtung ergeben. Die Blockbewegungen bildeten solchermassen die Bewegungskomponenten der unterliegenden Strömung.

Wir müssen uns bewusst sein, dass im Bewegungsbild der Erde auch ältere Bewegungen aus dem Mesozoikum, und vor allem aus dem Tertiär, sozusagen fossil noch enthalten sind, obwohl diese Bewegungen heute vollständig abgeklungen sein können. Das Bewegungsbild müsste richtigerweise zeitlich aufgliedert werden, rezente Bewegungen und fossile Verschiebungen müssten auseinandergehalten werden, eine Aufgabe, die wir erst in Angriff genommen haben.

In Abbildung 1 wurde nicht unterschieden zwischen rezenten und oberkretazisch-tertiären Bewegungen. Wir erhalten somit ein Bild, wie es sich aus den Bewegungen seit dem Tertiär bis heute ergab. Offenbar ist die Bewegung des Gondwana-Feldes heute im Abklingen begriffen (gestrichelte Pfeile in Abb. 1), das Pazifik-Feld jedoch in voller Aktion. Dies dokumentiert sich in der ausgeprägten Seismizität dieses Gebietes und in den jungen Inselbögen, die sich nur im Bereich des Pazifik-Feldes vorfinden.

### III. Die Vorgänge im Kontaktbereich zweier Rotationsfelder

Im Grenzbereich zweier Rotationsfelder kommt es zur Ausbildung von Scherzonen (siehe Abb. 3). Es wird nicht bei einer einzigen Blattverschiebung bleiben; es wird im allgemeinen ein ganzes System von Verwerfungen entstehen, wie dies heute am gut erforschten San Andreas-Fault-System beobachtet werden kann.

In diesem Sinne liesse sich auch die Entstehung der Inselketten neu deuten: sie entstehen in den Scherzonen. Ihre auffallend gleich grosse Länge würde dem

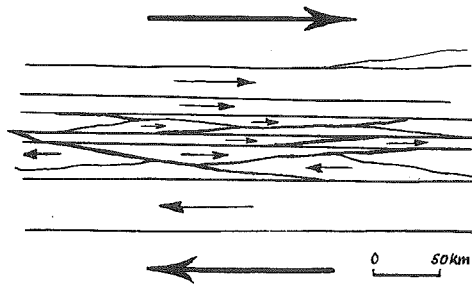


Abb. 3 Scherzone im Grundriss. Im zentralen Teil langgestreckte Scherspäne, die relativ zueinander bewegt werden.

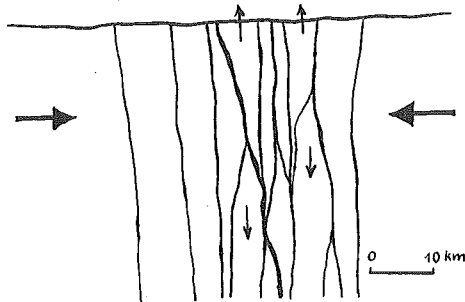


Abb. 4 Querprofil durch eine Scherzone. Nach unten keilartig zugespitzte Scherspäne werden herausgepresst, tiefer liegende, nach oben zugespitzte Scherspäne, hinabgepresst.

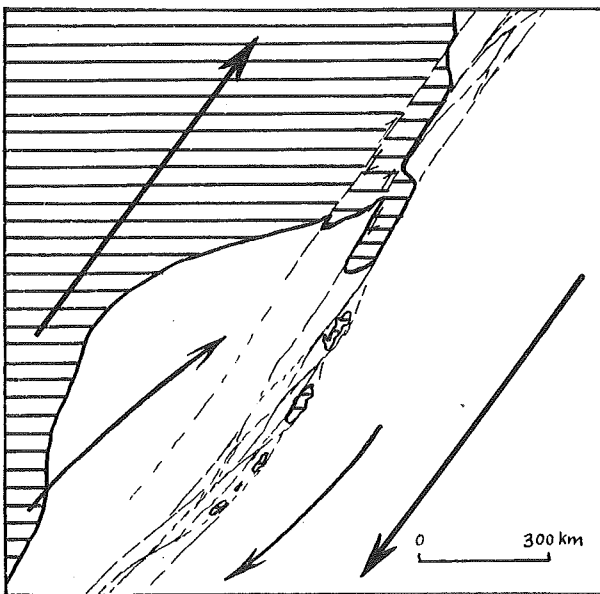


Abb. 5 Entstehung einer Inselkette im Grenzbereich zweier Rotationsfelder. Horizontal gestrichelt: Ursprünglicher Kontinentalblock.

Verschiebungsbetrag zwischen dem Laurasia-Feld und dem Pazifik-Feld entsprechen. Hinzu kommt der beträchtliche Vulkanismus in den Scherzonen (Abb. 5).

#### IV. Scherzonen und Gebirgsbildung

Die Verwerfungsspalten einer Scherzone verlaufen nicht genau parallel, sondern schneiden sich unter spitzen Winkeln. Es entstehen dadurch langgestreckte Gesteinslinsen, sogenannte Scherspäne. Die Scherspäne werden relativ zueinander um grössere oder kleinere Beträge bewegt, verschoben und aneinander vorbeigepresst (siehe Abb. 3).

Im Querprofil durch eine Scherzone sind die Scherspäne ebenfalls zu erkennen. Je nach ihrer Form im Querschnitt werden, bei gleichzeitiger seitlicher Pressung, gewisse Scherspäne keilartig emporgedrückt, andere hinabgepresst (siehe Abb. 4).

Mit Hilfe dieses einfachen Mechanismus erklären sich im Prinzip alle Vorgänge im Bereich eines werdenden Gebirges: Das Nebeneinander langgestreckter, aufsteigender Schwellenzonen und absinkender, langgestreckter Sedimentationsräume entspricht dem Nebeneinander der langgestreckten Scherspäne. Schwellenzonen entsprechen Scherspänen, die herausgepresst werden, absinkende Sedimentationsräume hinabgepressten Scherspänen. Es erklärt sich der eigenartige Umstand, dass nebeneinander mehrere langgestreckte Flyschbecken mit mächtiger Sedimentfüllung (zum Beispiel im Karpatischen Flysch: Krosno-Flyschbecken, Magura-Flyschbecken, Podhale-Flyschbecken) entstehen konnten, ohne dass von den grossen Schwellenzonen zwischen ihnen, wie sie aus der Sedimentationsrichtung und der Mächtigkeit der Beckenfüllung angenommen werden müssen, heute viel zu finden ist. In diesem Falle wurden eben die Scherspäne entweder vollständig herausgepresst, oder sie liegen heute durch spätere Verschiebung innerhalb der Scherzone ganz wo anders, als man sie vermuten würde.

Durch das Heraus- und Hinabpressen entstehen im Bereich der Scherzone an der Oberfläche der Kruste relativ grosse Gefällsunterschiede, die zu Schweregleitungen in den noch wenig verfestigten Sedimenten und zur Bildung von turbidity currents Anlass geben. Die Scherzonen sind die Geosynklinalräume, aus denen die späteren Gebirge hervorgehen.

Die Scherzonen stehen entweder unter seitlichem Druck oder unter seitlichem Zug. Auch wenn Zug vorherrscht, wird es nicht direkt zur Öffnung der Verwerfungsspalten und zu einem eigentlichen Auseinanderweichen kommen. Dass der Vulkanismus ganz besonders auf die Scherzonen konzentriert ist, versteht sich von selbst.

Noch in einer weiteren Hinsicht ist die Grenzzone zweier sich relativ zueinander verschiebender Krustenfelder von Bedeutung. Die Scherzone wird sich nicht geradlinig entwickeln, sondern es wird stets eine «Wellung» im Grundriss entstehen (siehe Abb. 6). Ist eine «Wellung» vorhanden, so kommt es im Laufe der Zeit unweigerlich zu einer Verkeilung, einer Art unvollendeter Wirbel-

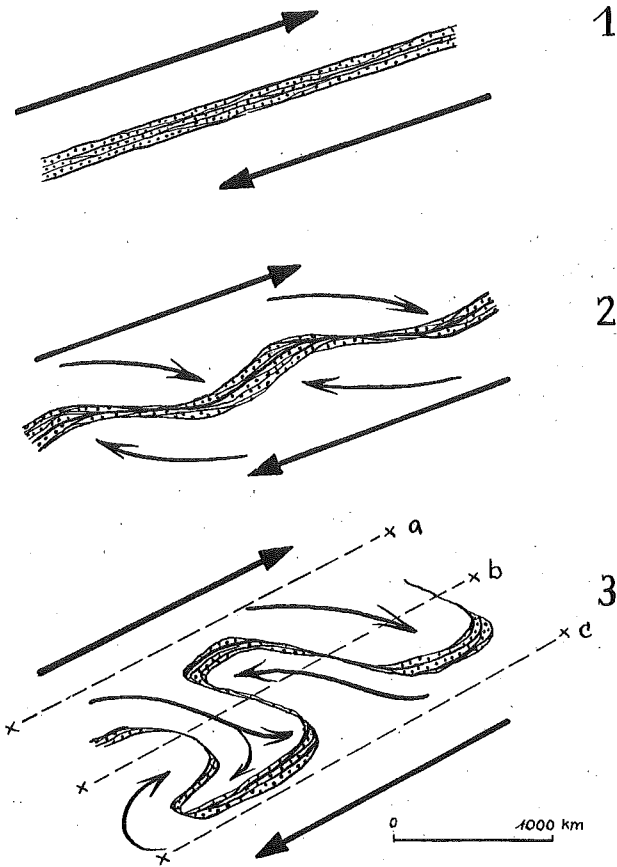


Abb. 6 Entstehung der Gebirgsschlingen.

- 1 Primäre Scherzone zwischen zwei Bewegungsfeldern. 2 Wellenartige Verformung der primären Scherzone durch beginnende Verkeilung. Entstehung sekundärer Scherzonen.  
 3 Verkeilung im Endstadium. Die Pfeile deuten die Bewegungstendenzen der Keilschollen an. a, b, c: Linien, entlang denen später die Kruste erneut zerreissen wird: Entstehung einer neuen primären Scherzone.

bildung: Es entstehen die bekannten Gebirgsschlingen. Dabei handelt es sich stets um eine mosaikartige gegenseitige Verschiebung der einzelnen Krustenteile. Die Pfeile in Abbildung 6 sollen den Richtungssinn und die Tendenz der Verkeilung andeuten.

Ist ein Krustenteil aus dem Rotationsfeld A um einen gewissen kleinen Betrag in das benachbarte Rotationsfeld B eingedrungen, so wird dieser Vorstoss den dem Keil vorgelagerten Abschnitt von B besonders stark beanspruchen, in dem Sinne, dass sich dieses Vorfeld nun seinerseits selbst zu einem Keil entwickelt. Aus Platzgründen erfolgt aus dem B-Feld punktsymmetrisch ein entsprechen-



der Vorstoss ins A-Feld. Durch diese Verkeilung wird nicht nur die ursprüngliche Hauptscherzone zwischen A- und B-Feld versetzt; es kommt zwischen den Keilen und benachbarten Feldern zur Ausbildung sekundärer Scherzonen, schiefwinklig zur ursprünglichen Hauptscherzone, die sich ebenfalls zu Geosynklinalen ausbilden können. In diesem Sinne lassen sich zum Beispiel der alpine Bau Europas und viele Züge im tektonischen Bild der Alpen durch Verschiebungen schief oder parallel zum Streichen neu deuten und erklären (siehe Abb. 1 und Abschnitt VII).

## V. Vergleich mit bisherigen geotektonischen Hypothesen

Die Grundlage jeder geotektonischen Hypothese bildet das bisher bekannte tektonische Bild der Erdkruste, die Gliederung der Erdoberfläche in Gebirgsgürtel, seismisch aktive Zonen und stabile Massen. Dies gilt auch für die Theorie der horizontalen Rotation. Mit der Kontraktionstheorie nimmt sie eine geschlossene feste Erdkruste an. Im Gegensatz zur Kontraktionstheorie, welche mit einer unveränderlichen Lage der Krustenteile rechnet, erlaubt und postuliert die Rotationstheorie sehr weitreichende horizontale Verschiebungen innerhalb der Erdkruste. Im Prinzip ist es für die Rotationstheorie auch nicht entscheidend wichtig, ob der Erdradius im Laufe der geologischen Zeiträume eine Verlängerung oder eine Verkürzung erfuhr. Pressungen und Zerrungen sind möglich.

Mit den Kontinentalverschiebungs- und Unterströmungstheorien nimmt die Rotationstheorie weiträumige Verschiebungen in der Erdkruste an. In der Rotationstheorie ist das Raumproblem gelöst, das für jede Theorie, die ein Auseinanderweichen von Krustenteilen annimmt, ein unüberwindliches Problem darstellt. Bei der Rotationstheorie entstehen an der Erdoberfläche weder neue Flächen, noch müssen bestehende Flächen verschwinden. Die Gesamtoberfläche bleibt im Prinzip konstant, auch wenn es zu weitreichenden Verkeilungen kommt. Die Gliederung der Kruste in Kontinentalschollen und Ozeanböden ist nicht von entscheidender Bedeutung, ein Gleiten der Sialschollen im festen Untergrund nicht notwendig. Die Bewegungseinheiten sind die Rotationsfelder als Teile der ganzen festen Erdkruste. Für grosse Gebiete der Erdoberfläche ist damit eine Permanenz der Kontinente und Ozeane gesichert. Entscheidende Veränderungen vollziehen sich in den Scherzonen und Gebieten starker Verkeilung.

In der Rotationstheorie ist die Forderung nach isostatischem Ausgleich erfüllt. Die negativen Schwereanomalien am Aussenrand der Inselbögen erklären sich durch hinabgepresste Scherspäne (siehe Abschnitt IV).

## VI. Die Ursachen der Rotation

Der Drehsinn der drei Rotationsfelder, wie er im Bewegungsbild an der Erdoberfläche zum Ausdruck kommt, führt dazu, dass es in gewissen Gebieten

immer wieder zu Perioden mit kräftiger gegenseitiger Verkeilung, das heisst Gebirgsbildung, kommen muss. Diese Verkeilung bewirkt eine gegenseitige Bremsung der drei Rotationsfelder. Es wirkt also die Gebirgsbildung letzten Endes der Ursache für die Drehbewegung der Rotationsfelder entgegen. Die Gebirgsbildung, wie auch die Rotation der drei Felder selbst, ist der Ausdruck eines Trägheitsprinzipes, eines Beharrungsprinzipes, das sich irgendwelchen Zustandsänderungen entgegenstellt. Es sei nochmals betont, dass nicht ohne weiteres entschieden werden kann, ob alle drei oder nur zwei Felder rotieren, dass ferner das heutige Bewegungsbild fossile Bewegungen widerspiegelt und somit auch hier falsche Schlüsse gezogen werden können. Es hat den Anschein, dass zum Beispiel die Drehbewegung des Gondwana-Feldes heute abgeklungen ist oder am Abklingen ist (gestrichelte Pfeile in Abb. 1).

Welches ist die Ursache, der Motor für die Drehbewegung der Rotationsfelder? Mit dieser Frage betreten wir ein noch wenig bekanntes Gebiet. Keine geotektonische Theorie vermag bis heute die letzte Ursache für die tektonischen Kräfte und Vorgänge ganz befriedigend und eindeutig zu lösen. Auch wir können vorläufig lediglich Vermutungen äussern, da noch zu viele Unbekannte bestehen.

Sollte die Beschleunigung oder die Verzögerung der Rotationsgeschwindigkeit der Erde hier eine Rolle spielen? Die Frage ist schwierig zu beantworten. Auf jeden Fall müsste zwischen Kruste und Kern irgendwo in beträchtlicher Tiefe eine mobile Zone bestehen. Ferner wissen wir nichts Sicheres über die wirkliche Lage der Rotationsachsen des Motors.

Eine Beschleunigung der Erdrotation erfolgt sicher durch den Vorgang der Differentiation. Die Trägheit des Erdmantels würde, genügend Mobilität vorausgesetzt, sich der Beschleunigung entgegensetzen. Es käme zu Verkeilungen, und die zusätzlich durch die Differentiation gewonnene «kinetische» Energie würde in der Gebirgsbildung verbraucht und in Wärme umgewandelt. Je nach der Lage der Rotationsachsen liesse sich – immer genügend Mobilität vorausgesetzt – bei Beschleunigung oder Verzögerung der Erdrotation ein Wechselspiel zwischen den drei Rotationsfeldern vorstellen.

Für den Geologen hat die Vorstellung, dass die Differentiation letzten Endes die Energie für die Gebirgsbildung lieferte, etwas Bestechendes an sich. Tatsache ist, dass eine Beziehung Magmatismus-Gebirgsbildung besteht (initialer Magmatismus – synorogener Magmatismus), dass ein gewisser orogener Rhythmus besteht, gekoppelt mit petrographischen Zyklen, und dass in bezug auf die gebirgsbildenden Vorgänge eine teilweise Wechselwirkung zwischen Pazifik-Raum und eurasiatischem Raum sich abzeichnet.

Es ist nun aber sehr wohl möglich, dass durch thermische Unterschiede und die chemisch-physikalischen Vorgänge bei der Differentiation im Erdmantel Konvektionsströme erzeugt werden, eine Ansicht, die heute von Geologen und Geophysikern vielfach geteilt wird. Vom energetischen Standpunkt aus gesehen, bestehen keine ernsthaften Schwierigkeiten für die Entstehung von Konvektionsströmungen. Abbildung 7 zeigt ein Strömungsbild im Erdmantel, wie es für die Erzeugung der heutigen Rotationsfelder in Frage kommen könnte.

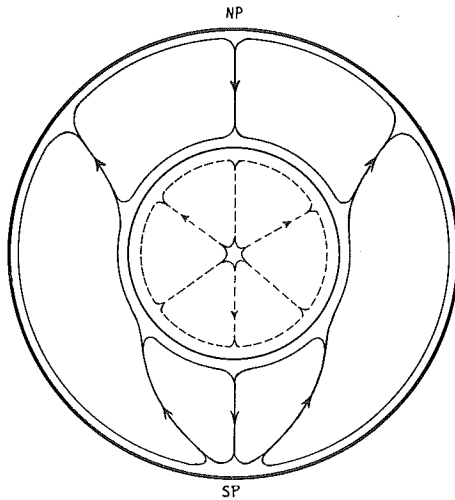


Abb. 7 Subkrustale Konvektionsströmung im Erdmantel als Ursache für die Bewegung der drei Rotationsfelder.

Es ist anzunehmen, dass in früheren geologischen Zeitaltern eine grössere Zahl von Rotationsfeldern bestand als heute, und dass die heutigen Rotationsfelder aus der Verschweissung früherer Felder entstanden sind.

## VII. Nachwort

Die vorliegenden Gedankengänge und Untersuchungen haben uns seit längerer Zeit beschäftigt. Je weiter wir in unseren Überlegungen vorstießen, desto mehr wurden wir in der Auffassung bestärkt, dass die Annahme von rotierenden Krustenfeldern eine fruchtbare Arbeitshypothese darstellt, die zahlreiche geologische Tatsachen widerspruchlos zu erklären vermag. Die Theorie der horizontalen Rotation vereinigt zwanglos die positiven Seiten der Kontraktionstheorie und der Konvektionsströmungstheorien, ohne mit den kaum zu lösenden Problemen jener Theorien belastet zu sein. Vielleicht bringt uns die Rotationstheorie auch einer Erklärung des Erdmagnetismus näher. Die Säkularvariation des magnetischen Feldes der Erde lässt ebenfalls grossräumige Einheiten erkennen. Eigenartige Widersprüche paläomagnetischer Untersuchungen liessen sich abklären.

Obwohl noch mancherlei Ungewissheiten bestehen, gerade in bezug auf die Ursachen der Drehbewegung der Rotationsfelder, haben wir uns aus den genannten Gründen entschlossen, die vorliegenden Gedankengänge und Untersuchungsergebnisse zu veröffentlichen. Mögen sie mit Nachsicht betrachtet werden. Sehr zahlreiche tektonische Beobachtungen und Deutungen regional-geologischer Zusammenhänge sowie eine ganze Reihe weiterer Überlegungen

und Gesichtspunkte konnten hier nicht erwähnt oder nur kurz gestreift werden. Ebenso wurde im Rahmen dieser Mitteilung auf Literaturangaben verzichtet. Es sei diesbezüglich auf die umfassendere Arbeit des Verfassers hingewiesen, die unter dem gleichen Titel wie die vorliegende Mitteilung in absehbarer Zeit erscheinen soll. Kritische Mitteilungen oder Ergänzungen wird der Verfasser mit Dank entgegennehmen.

Institut für Geophysik der ETH, Zürich 6, 18. Juli 1960.