

Zur Deutung der Vertikalbewegungen der Festländer und Meere.

Von Franz E. Sueß.

Fortsetzung.

E. Horste und Gräben.

Unter dem Begriffe der epirogenetischen Bewegungen behandeln viele Schriften oft auch die Frage nach dem Anteile der vertikalen Aufwärtsbewegung bei der Bildung der Horste zwischen Gräben. Sie ist abzutrennen von der Frage nach den Hebungen und Senkungen der Kontinente. Sind die typischen Horste, wie Schwarzwald und Vogesen, der Harz und das französische Zentralplateau seit ihrer Entstehung in unveränderter Lage verblieben, oder wurden sie gegenüber ihrer Umgebung nach aufwärts gerückt? Blieb ihr Abstand vom Erdmittelpunkte im wesentlichen unverändert oder wurde er durch tektonische Vorgänge vergrößert? Der unmittelbare Vergleich mit den Nachbargebieten gibt nur Aufschluß über das relative Ausmaß, nicht über den absoluten Sinn der Bewegung. Auch diese Frage würde entschieden sein, wenn es feststünde, daß der Spiegel der Ozeane im Laufe der Zeiten keine bedeutenden Veränderungen erfahren hat; dann könnte kein Zweifel darüber bestehen, daß der alte Horst der Vogesen mit den transgredierenden Resten der Trias und Juraformation in 750 und 1000 m S.H. um mehr

als den genannten Betrag senkrecht emporgeschoben wurde. Dieser Meinung steht wieder die andere gegenüber, welche ihre Argumente dem tektonischen Bilde größerer Gebiete entnimmt, welche die Erde für das Beharrlichere hält. Nach ihr beherrschen vor allem Einbrüche den Bauplan der Erde, und die Horste sind nicht oder nur wenig verschobene Schollen, welche in thalattokraten Zeiten ganz oder teilweise überschwemmt worden sind.

Die gut bekannten variszischen Horste-Mitteleuropas stehen bis in die jüngste Zeit im Mittelpunkt solcher Auseinandersetzungen. Die Gründe für und wider, auf welche sich die streitenden Teile noch des Näheren berufen, beziehen sich auf die Verteilung und Art der auflagernden Sedimente, auf Beobachtungen an Klüften und Verwerfungen und auf die morphologische Gestaltung der Gebirge. Hier kann auf die Einzelheiten der Begründungen wieder nicht eingegangen werden.

Die Trümmer aus den innersten Teilen des paläozoischen Gebirges, welche heute als die größten Horste erhalten sind, haben schon in mesozoischer Zeit, vor ihrer Zerteilung durch die jüngeren Bruchsysteme eine höhere Lage eingenommen, als die nördlich vorlagernden Außenzonen des Gebirges. Das französische Zentralplateau, der Schwarzwald, die böhmische Masse sind nur von den höheren Transgressionen des mittleren und oberen Jura und der oberen Kreide erreicht worden. Die höchsten Aufragungen in der böhmischen Masse sind wahrscheinlich während des ganzen Mesozoikums trockene Inseln geblieben. Im Niederdeutschen Becken, jenseits des sogenannten »niedersächsischen Uferlandes« (STILLE, 6), einer Linie, die vom Nordrande des Teutoburger Waldes zum Nordrande des Harzes und gegen Magdeburg verläuft, zeigt die vollständige marine Serie, in der die gesamte Trias, der Lias und auch das Neokom vertreten ist, daß trotz vieler späterer Bewegungen das Gebiet während der ganzen früheren Zeit schon tiefer gelegen war, als die noch heute höher aufragenden Reste des alten kristallinen Hauptkammes. In diesem Sinne sind sie stehengebliebene Kerne des größtenteils eingesunkenen Gebirges, d. i. sog. ständige Horste.

Die Brüche, welche das alte Gebirge mit den auflagernden mesozoischen Tafeln zerstückelt haben, können nach den vorherrschenden Richtungen zu drei Systemen gruppiert werden: 1. Das rheinische Bruchsystem mit vorherrschend nördlichen oder nordnordöstlichen Richtungen. 2. Das Nordost streichende erzgebirgische System und 3. die im großen nach Nordwest ausstrahlenden Brüche der Karpinsky-schen oder asiatischen Richtung.

1. Auf der geologischen Karte tritt das rheinische Bruchsystem am auffallendsten hervor durch das gestreckte Band von jungen Sedimenten und Alluvien, welches sein wichtigstes Glied, den Rheingraben, ausfüllt. Die Meeres- und Süßwassersedimente unter den Alluvien bezeugen, daß die Einsenkung im Oligozän entstanden ist. Zu beiden Seiten erheben sich, durch Brüche scharf begrenzt, Schwarzwald und

Vogesen als mächtige Horste. ELIE DE BEAUMONT hatte seinerzeit angenommen, daß die alten Gebirge zuerst zu einem einheitlichen Dome aufgewölbt wurden, dessen Scheitel in meridionaler Richtung zerbarst und niederbrach, und so die Trennung der beiden aufragenden Stücke, des Schwarzwaldes mit dem Odenwalde von den Vogesen mit der Hardt, bewirkte. Aber die Richtung und Ausdehnung der Sprünge des rheinischen Systems bleibt unabhängig von der inneren Struktur und der Ausdehnung dieser Horste. Die Randbrüche durchschneiden nur wenig abgelenkt die älteren quer übersetzenden Sprünge der Odenwaldrichtung südlich von Heidelberg, und die Randbrüche des Saargebietes. Mehr zersplittert und minder auffällig setzt sich das System noch weit nordwärts fort, durch die Senke von Cassel, über das vulkanische Gebiet des Vogelsberges, und durch den Graben des Leinetales bei Göttingen und bis an den Rand des Harzes.

Die zahlreichen Meinungen, die seit ELIE DE BEAUMONT über die Entstehung des Rheingrabens geäußert worden sind, können im großen in zwei gegensätzliche Gruppen geteilt werden, von denen die eine unveränderte Lage des Horstes zu beiden Seiten der Einsenkung voraussetzt, die zweite die Annahme einer Hebung der alten Gebirge für notwendig hält. Vereinzelt blieb die Meinung, daß der Mittelstreifen in unveränderter Lage verblieben ist und nur die Ränder emporgehoben worden sind. Die meisten Anhänger der Hebungslehre meinen, ähnlich wie ELIE DE BEAUMONT, daß die beiden Gebirge als einheitliches Gewölbe vor dem Einbruche gehoben worden sind. LAPPARENT (36) suchte sie eingehender zu begründen und in neuerer Fassung von VAN WERVEKE (37) erscheint der Vorgang noch verwickelter, indem die verschiedenen Transgressionen und Regressionen bis ins Tertiär durch Senkungen und Hebungen der Schollen gedeutet werden.

Die ungleiche Höhenlage der Sedimente auf und neben den Horsten kann natürlich ebenso auf diese, wie auf jene Weise erklärt werden, und theoretische Vorstellungen allgemeiner Art bestimmen gewöhnlich den diesbezüglichen Standpunkt der einzelnen Forscher. Wenn LAPPARENT gegen die Deutung von Schwarzwald und Vogesen als stehengebliebene Horste den Einwand erhob, daß an deren Außenrändern die den Innenrändern entsprechenden Brüche und Verwerfungen entgegen der Erwartung nicht vorhanden seien, so ist dem entgegenzuhalten, daß die äußeren Schollengrenzen durch Brüche und Flexuren nach anderen Richtungen und von höherem Alter bestimmt werden; erst zuletzt ist die Scholle, welche Schwarzwald und Vogesen mit umfaßte, durch eine neue Inanspruchnahme nach besonderen Richtungen quer durchgeborsten.

Greifbare Anhaltspunkte über den wahren Sinn der Bewegung suchte man zu gewinnen aus der Beschaffenheit und Lage der Randverwerfungen und aus der Streifung der Harnischflächen. Nach einem einfachen Schema soll bei Divergenz der Verwerfungsflächen gegen

unten an beiden Grabenrändern Zusammenschub von beiden Seiten her und Verengung des Raumes, bei Divergenz der Randspalten gegen unten tangentielle Druckentlastung durch Zerrung stattgefunden haben. Im ersteren Falle mußten die Horstränder emporgepreßt werden; im zweiten Falle konnte der Mittelstreifen nachsinken.

SALOMON (38) hat einige seiner Schüler zu planmäßigen Untersuchungen in den beiderseitigen Randgebieten des Rheingrabens bei Heidelberg angeregt. Nach bisherigen Ergebnissen der Untersuchungen von LIND (39) im Odenwald und Kraichgau bei Heidelberg, von DINU (40) im östlichen Pfälzerwalde, von ENGSTLER (41) in den Mittelvogesen ist das Gebirge beiderseits des Rheins von einem Bruchnetz mit zwei Hauptrichtungen, einer ungefähr nordsüdlichen (longitudinalen) und einer vorwiegend ostwestlichen (transversalen) zerteilt. Unter den Streifenrichtungen der Harnischflächen des transversalen Kluftsystemes überwiegen die der Horizontalen genäherten Streifen; dabei überwiegen im westlichen Gebirge die gegen Osten ansteigenden Harnischstreifen. An den gemeinen Klüften (das sind, deren Wandflächen keine Glättung besitzen) herrscht unter zwei annähernd senkrecht aufeinander gerichteten Systemen besonders das der Grabenrichtung parallel verlaufende. Sie sind als Verwerfungsflächen mit nicht mehr meßbaren Verschiebungsgrößen anzusehen. Unter diesen sind — neben vorwiegenden senkrechten oder nahezu senkrechten Klüften — besonders die gebirgswärts geneigten häufig. LIND fand rechtsrheinisch 23,2% der gemessenen Klüfte ostwärts einfallend. Unter den von DINU linksrheinisch beobachteten Klüften fallen 36% gebirgswärts. Die Verhältniszahl steigt und die Neigungen nehmen ab, wenn nur ein $1\frac{1}{2}$ km breiter Streifen unmittelbar am Grabenrande berücksichtigt wird. Zu übereinstimmenden Ergebnissen führten die Untersuchungen von ENGSTLER in den Vogesen. Auch dort überwiegt die horizontale Streifung ebenso auf den longitudinalen wie auf den transversalen Spaltflächen. In der Transversalgruppe überwiegen die nach Osten ansteigenden Streifen. Aus diesen Verhältnissen, aus dem Vorwiegen der horizontalen und leicht grabenwärts ansteigenden Harnischstreifen auf den Transversalspalten und der Häufigkeit der unter das Gebirge einfallenden Longitudinalklüfte, schließen die genannten Autoren, daß durch ein einfaches Einsinken des Mittelstreifens die Bildung des Rheingrabens nicht zu erklären sei, sondern daß bei diesen Vorgängen horizontaler Druck eine große Rolle gespielt haben müsse. Sie erkennen hier eine Tendenz, die randlichen Gebirgsschollen über den Graben hinaufzuschieben; nach SALOMONS Meinung wurde der mittlere Grabenstreifen weniger durch eigenes Gewicht hinabgezogen, sondern vielmehr durch den seitlichen Druck der Nachbarschollen an schrägen Verwerfungen niedergetaucht.

So ungemein wertvoll die sorgfältige Sammlung solcher Beobachtung in verschiedener Hinsicht ist, so ist ihre Deutung doch nicht einfach. Häufig wird beobachtet, daß an der gleichen Verwerfungsfläche in auf-

einander folgenden Zeiten Bewegungen nach verschiedenen Richtungen eingetreten sind. Verkehrte Schleppungen zeigen dies in häufigen Fällen. An manchen Harnischflächen ist der Gang der Verschiebungen durch scharf eingekratzte Linien, oft mit unregelmäßigem, zickzackförmigem oder verworren knotigem Verlaufe aufgezeichnet. Nicht selten sieht man, daß die gleiche Zeichnung in verschiedenen Teilen einer größeren Harnischfläche aufs genaueste in denselben Verhältnissen wiederholt wird. Man sieht, wie die Schollen an den Harnischflächen, nach verschiedenen Richtungen, bald vorwärts und wieder zurück, mehr oder weniger aufwärts oder abwärts gleitend und gegeneinander reibend verschoben worden sind. Unter wechselnden Druck- und Belastungsspannungen mögen die Schollen mancherlei Verdrückungen und Verschiebungen durchgemacht haben. Ältere Streifungen konnten dabei durch jüngere verwischt und unkenntlich geworden sein.

Was hier auf den Verwerfungsflächen eingetragen ist, sind vermutlich späte Einzelheiten des großzügigen tektonischen Vorganges. Die Längs- und Querklüftungen zeigen, daß das Gebirge in gegeneinander verschiebbare Schollen gegliedert war. Wie in der Nachbarschaft sinkender Schollen durch einseitige Entlastung die einzelnen Klötze in der randlichen Lockerzone der Schwere folgend unter kleinen Drehungen und mancherlei sonstigen Ausweichbewegungen parallel und quer zur Hauptbewegungsfläche niedergleitend einer neuen Gleichgewichtslage zustreben, hat kürzlich REIS (42) in einer lehrreichen Abhandlung gezeigt. Die jüngsten Ausweichbewegungen sind auf den Schubflächen verzeichnet.

An langgestreckten Randsprüngen mit parallelem Streichen, aber wechselndem Einfallen werden schmale Schollen mit keilförmigen Querschnitten vom Gebirge losgelöst. Die Entstehung solcher »schmalen Störungszonen« durch ungleiches Niedergleiten hat kürzlich CLOOS (43) dargelegt. Sie rufen leicht den Anschein hervor, daß dünne Splitter neben den Haupthorsten gesenkt oder gehoben worden sind.

Andere Vorstellungen entwickelte QUIRING (44). Aus Beobachtungen an den Verwerfungen in einigen Bergwerksbezirken, die im normalen Sinne einfallend ein Abgleiten des Hangendflügels anzeigen, ferner aus dem Auftreten von Erzgängen als Kluffüllungen und aus einigen weiteren theoretischen Erwägungen schloß er, daß alle aus Horsten und Gräben bestehenden »Schollengebirge« durch Auseinanderschleiben auf einen größeren Flächenraum, d. i. durch Zerrung entstanden sind. Sekundäre Sprünge, die in gesenkten Schollen verkehrt gegen den Hangendflügel zu einfallen, deutet er als Böschungssprünge. Sie entstehen auf folgende Weise: Indem die abgleitende Masse durch die Schwere in die Tiefe gezogen wird, zerbricht sie und teilt sich in leistenförmige Schollen mit keilförmigem Querschnitt, die in dem Bestreben, die klaffenden Spalten zu schließen, in streifenförmigen Staffeln zurücksinken.

Aber für die Beurteilung derartiger Vorgänge sind die Zusammen-

hänge im Großen ebenso maßgebend, wie die örtlichen Einzelheiten und der Verlauf der Linien im Kartenbilde in weite Gebiete hin verdient die gleiche Bewertung, wie die Kleinbeobachtung.

Gegen eine einfache Aufwölbung mit nachträglichem Einbruche des Mittelstreifens spricht schon die bedeutende Tiefe, in welche die Grabenfüllung hinabreicht. Eine Bohrung bei Wittelsheim unweit Mühlhausen im Elsaß hatte in 1119 m Tiefe das Tertiär noch nicht durchteuft. Der Mittelstreifen des geborstenen Gewölbes müßte unter seine ursprüngliche Lage, und zwar tief unter dem gegenwärtigen Meeresspiegel hinabgesunken sein.

Gleich den Kanten einer klaffenden Spalte, bewahren die beiderseitigen Grabenränder in den straffen Biegungen unveränderten Abstand. Es ist das Bild einer Zerreißung durch Zerrung, einer Disjunktion (E. SUSS). REIS (42) hat die Unregelmäßigkeiten der Grenzen im einzelnen gedeutet und in überzeugender Weise gezeigt, wie die beiderseitigen Grabenränder einander beeinflussen. Gleiche oder vergleichbare Teile liegen einander gegenüber, und auf der einen Seite fehlt in der Regel ebensoviel, wie auf der anderen zugefügt wurde. Durch Gegenstellung einer Einbiegung auf der einen und einer nachgebrochenen Ausbiegung auf der anderen Seite entstehen beiderseits annähernd symmetrische Verbreiterungen.

So entspricht z. B. die steife Odenwald-Biegung von Zwingenburg-Auerbach der Nordwestecke der linksrheinischen Mannheimer Bucht. Nahe gegenüber dem Vorsprunge von Sexau-Emmendingen liegt der Anfang des Einbruches von Zabern bei Barr-Andlau. Der Bucht von Darmstadt entspricht jenseits des Rheins der Nierensteiner Aufbruch.

An der Stelle der größten Grabenbreite hat aufsteigendes Magma mit dem Kaiserstuhle die Oberfläche erreicht. Der Bucht von Freiburg entspricht aber nur ein verhältnismäßig schwächeres Gegenüber in der Nische von Colmar—Rappoltweiler mit kleinem Basaltdurchbruch. Aber die Jurascholle im Kaiserstuhl zeigt eine westwärts vorspringende, nicht bis zur ganzen Grabentiefe abgesunkene Verwerfungsecke an, auf welche die Mulde von Colmar bezogen werden kann.

Auch die trompetenförmige Erweiterung des Südendes entsteht durch die rechtsrheinische Aussprengung des Dinkelsbergsgebietes von Kandern gegen SO; gegenüber, linksrheinisch, biegt die östliche Randverwerfung von Thann—Sennheim südwestlich ab in der Richtung auf Belfort.

Die größeren seitlichen Einbrüche stellen sich dort ein, wo die Randbrüche die nordöstlich querstreichenden älteren Mulden des benachbarten Gebirges durchschneiden; sie suchen diese, wo sie in deren Bereich eintreten, gleichsam zu vertiefen. Wo die Zweibrückener Mulde des Haardtwaldes gegen den Bruchrand ausbiegt, liegt die Einbruchsbucht von Kirchheim—Bollanden. Weiter südlich liegt der Einbruch von Zabern zwischen Barr und Andlau in der Richtung der Triasteilmulde von Pfalzburg. Die entsprechend rechtsrheinische Fortsetzung ist die

Einbruchsbucht vor Karlsruhe—Bruchsal—Langenbrücken. Die Rheintalverwerfungen werden beim Überschreiten der Mulden in diese abgelenkt. All dieses zeigt, daß in der Tat das Mittelstück eingesunken ist. Die beiderseitigen Beziehungen der Bewegungen »von einer Tal- seite zur anderen und ihre weitgehende Abhängigkeit von der älteren Gebirgsstruktur kann nicht durch Drucksteigerungen von zwei Seiten her verstanden werden; beiderseitige Pressung über ein unbeteiligtes Mittelstück könnte nur Unregelmäßigkeit und Verwirrung der Lage- rungsverhältnisse bewirken. Nur bei einem normalen Senkungsvorgange konnte eine sich senkende mittlere Masse ihre Spannungsverhältnisse in bezug auf die benachbarten Gebirgsstrukturen nach beiden Seiten zur Geltung bringen« (s. REIS, l. c. S. 254).

Daß die mesozoischen Schollen innerhalb des Grabens nicht in einer Senke abgesetzt, sondern nachträglich versenkt worden sind, ergibt sich daraus, daß ihre Schichtfolge die gleiche ist, wie jene der ehemaligen Decke auf den Horsten. Die einstige Verbreitung des Jura über die Höhen des Schwarzwaldes ist seit langer Zeit durch die Gerölle von Jura- kalk in der Nagelfluh von Alpersbach bei Freiburg bewiesen. Ebenso beweist das Fehlen der Kreide in den Schollen des Rheintales, ebenso wie auf den Horsten, die ehemalige Höhenlage der Schollen und deren spätere Versenkung.

Nach der rechnerischen Schätzung von REIS genügt zur Senkung eines Keils von der Grundfläche und Querbreite der Rheintalsenke um etwa 1000 m an 70 oder 80° geneigten, nach unten konvergierenden Klüften ein Zurückweichen der Seitenwände um nur 365 bzw. 162 m.

Die Zerreißung ändert nicht ihren Charakter, indem sie verschieden- artige Gebirgsglieder durchschneidet. Auch die Kleinzersplitterung jen- seits der basaltischen Masse des Vogelsberges im Leinegraben und bis an den Harzrand zeigt die Merkmale der »Disjunktion« (E. SUSS, Antlitz III, 2. S. 30).

Allgemein wird das rheinische Bruchsystem als ein Seitenstück zu der unvergleichlich großartigeren Zerberstungszone angesehen, welche durch Abzweigungen mehrfach zergabelt und zerteilt vom Sambesi über die langgestreckten ostafrikanischen Seen, durch das Rote Meer, das Jordantal und durch die Senke zwischen Libanon und Antilibanon bis an den Rand des Taurus über 6000 km weit zu verfolgen ist.

Nach MOLENGRAAFFS Meinung ist die große Landstafel nahe der süd- afrikanischen Ostküste zwischen Laurenço Marques und Pietermaritzburg ebenfalls hierher zu rechnen. An seinem Nordende teilt sich der Nyassa- see in zwei Äste; der eine Ast strebt nordöstlich zum ostafrikanischen, der zweite nordwestlich zum zentralafrikanischen Graben; keiner dieser beiden Äste schließt aber unmittelbar an einen der Hauptgräben. Der ostwärts konvexe Bogen des zentralafrikanischen Grabens mit dem Tanganyika und dem Kiwusee endigt im Albertsee ohne sicheren An- schluß an die nördlichen Gräben. Vielfach zersplitterte Brüche schließen

an den nordöstlichen (Ruaha-) Ast des Nyassagrabens. Im Süden mehrfach, im Norden einheitlicher abgestuft, bilden sie die große Ostafrikanische Bruchstufe. An ihrem Südenende in der Landschaft Ugogo sind nach den Darlegungen von O. E. MEYER (45) alle Sprünge und Abstufungen einem System von WNW und OSO sich kreuzenden Linien eingeordnet. Man findet nur geradlinige Teilstücke, welche stets rechtwinklig mit scharfem Knicke aneinander gefügt sind. Die Zerstückelung der Granitrumpfscholle bleibt örtlich bestimmt durch Linien geringsten Widerstandes, d. i. durch die regelmäßige Klüftung des Massengesteines. Scharf biegt der ostafrikanische Graben jenseits des Rudolfsees nordostwärts ab zur vulkanisch überflossenen Senke von Afar am Fuße des abessinischen Hochlandes. Wieder gegen NNW gestreckt ist der breitere Graben des Roten Meeres. Dann verläuft wieder fast nördlich die schmalere Furche durch das Jordantal und durch den syrischen Graben. Das libanotische System ist nach L. KOBER bereits gefaltetes Vorland. Es liegt vor dem zwischen der palästinischen und der ostsyrischen Tafel eingesenkten syrischen Graben, wie das Juragebirge vor dem Rheingrabens zwischen Schwarzwald und Vogesen. Wie der Faltenjura über den Tafeljura, drängt der Rand des Libanon über die Tafel der Damaszene. Demnach ist die Senke von Bika nicht die Fortsetzung des syrischen Grabens, sondern eine Synklinale zwischen zwei Faltenbögen (46).

HENNIG (47) rechnet zu dieser großen Zersplitterungszone auch die entlegenen Gräben von Katanga in Upemba und von Pemba nahe der Ostküste bei Sansibar.

50—80 km beträgt die Breite der Bruchschollen im Süden; aber sie bleiben stets schmal in ihrer Gesamtgestalt mit einer Längenerstreckung über viele Hunderte oder Tausende Kilometer.

Die meisten Beobachter sind wohl darin einig, daß dieses gewaltige Bruchsystem trotz vieler Ablenkungen von der Hauptrichtung und mancher Unterbrechungen auf eine große einheitliche Ursache zurückzuführen sei, und zwar auf eine Beanspruchung der äußeren Erdrinde durch eine zur meridionalen Richtung senkrechte, tangentielle Kraft, durch Kontraktion oder Zerrung. Auch hier deutet das Hervorbrechen von Magma an vielen Stellen der breiten Zone auf eine Lockerung des Gefüges. Der Anstieg mag durch örtliches Auseinanderrücken der Spaltenwände oder durch Raumgewinn beim Niedertauchen von nach aufwärts keilförmig verschmälerten Schollen gegeben worden sein. Es bleibt aber auffällig, daß gerade die gewaltigsten Ergußmassen nicht in den Hauptgräben, sondern an seitlichen Nebensprüngen gelegen sind. Es entzieht sich noch unserer Kenntnis, welche örtliche Zufälligkeiten den Massenaustritt des Magmas an gewissen Strecken begünstigt haben. O. E. MEYER (45) vermutet, daß das Magma an schräg ansteigenden (Unterschiebungs-) Klüften bis in die Nähe des Abbruches emporgeführt wurde und das letzte verschmälerte keilförmige Ende der höheren Scholle senkrecht durchbrochen hat. Die Randspalten breiter und tief ein-

gebrochener Gräben mögen durch das Nachbrechen von Randleisten versperrt werden. Durch eine seitliche Verschiebung kann an der Biegestelle einer geschlossenen Spalte eine breitere Bahn eröffnet werden. Wie aber unter Umständen auch im Tafellande das Magma durch eigenen Auftrieb sein Dach abbauend in breiten Stöcken emporsteigen kann, haben die neueren schönen Untersuchungen von CLOOS am Erongo-Granit gezeigt (48).

Der Eindruck des Auseinanderweichens im Großen wird kaum widerlegt durch die Beobachtung örtlicher Pressungen, Schollenverkeilungen usw., an denen nachträgliche Verschiebungen z. T. auch unter dem Einflusse der Schwere beteiligt sein können.

Auch wurde, und namentlich von C. UHLIG und von JÄGER, der Gedanke vertreten, daß die Gräben durch Einbruch in Firste breiter Geantiklinalen entstanden seien. Die beiden Hauptgräben, der Zentralafrikanische und der Ostafrikanische, liegen in den Randschwellen des Unjamwesi-Ungandabeckens; wo sich beide zur einheitlichen Nyassaschwelle vereinigt haben, liegt der Nyassagraben. Aber der Einwand, der gegen die ähnliche Auffassung des Rheingrabens erhoben werden kann, gilt auch hier. O. E. MEYER hat u. a. darauf hingewiesen. Die Sohle der Gräben ist tiefer gelegen als die Oberfläche des umgebenden Gebietes. Das Unjamwesi-Ungandabecken liegt nach JÄGER in 1000—1300 m Meereshöhe; die Sohle des Tanganyikasees sinkt aber an einigen Stellen fast bis zum Meeresspiegel hinab (SCHNIEDER) und noch tiefer hinab sinkt der Nyassagraben. - Vielmehr erhält man auch hier den Eindruck einer klaffenden Spalte in der Erdkruste. Dasselbe gilt in noch höherem Maße für den syrischen Graben und dem bis 793 m unter den Mittelmeerspiegel hinabreichenden Grunde des Toten Meeres. Man kann noch hinzufügen, daß ebenso wie im Rheingrabensystem die Brüche auch hier in ihrem weiteren Verlaufe unabhängig bleiben von der Höhenlage der Nachbarschollen.

O. E. MEYER vermutet in Zentralafrika elastisches Aufschnellen der Schollenränder nach einer Berstung. Die schmalen Streifen, die eigentlichen Gräben sind aber gewiß nicht in unveränderter Lage geblieben, sondern in die Tiefe gesunken zwischen den großen geborstenen Tafeln mit ihren transgredierenden Decken. Die Verschiebungen nach auf- und abwärts, welche die Schollen im Zusammenhange mit der Zerberstung erlitten haben, bleiben aber doch klein und nebensächlich bei dem über so viele Breitengrade ausgedehnten Vorgange, und alle neueren Einzeluntersuchungen sind kaum imstande, das aus den Umrissen im Großen gewonnene Urteil von E. SUESS zu beeinflussen, daß in dem über 52 Breitengrade ausgedehnten Vorgange Spannungen in den äußeren Hüllen der Erde senkrecht auf die Richtung der Sprünge, hier senkrecht auf den Meridian, zur Äußerung gelangen.

2. Die erzgebirgische Bruchrichtung gegen NO hat ihren Namen von dem steilen Abbruche des Erzgebirges gegen die flachen Tertiär-

becken von Brüx—Teplitz und Eger—Falkenau. Auch diese Richtung ist weit verbreitet; einen auffallenden Steilrand beiläufig in derselben Richtung bildet der Donaubruch, der das schwäbische Juragebiet zwischen Regensburg und Schaffhausen begrenzt. Ähnliche Richtungen kehren wieder am Westrande des großen schwäbisch-fränkischen Senkungsfeldes (Odenwaldspalte) an den Rändern und in den Brüchen des Saar-Kohlengebietes, in Lothringen und Luxemburg und dem mesozoischen Gebiete der Bucht von Trier; dort fällt sie zusammen mit dem Streichen der Falten des Rheinischen Schiefergebirges. Auch in Teilen dieser Bruchzone lassen ausgedehntere vulkanische Durchbrüche Zerrung oder doch Lockerung des Gefüges vermuten. Vom Böhmischem Mittelgebirge über die Duppauer Masse setzen sie sich fort in die Ausläufer des Bayrischen Waldes; die schwäbischen Vulkangebiete liegen in derselben Richtung. Zersplitterungen des tieferen Grundgebirges haben ihnen den Weg geöffnet. Unter der verhältnismäßig wenig mächtigen mesozoischen Decke wurden sie zu flachen Lakkolithen gestaut. Die durchbrechenden Explosionskanäle, das Ries, die schwäbischen Maare und die Vulkanembryonen deuten nur in ihrer allgemeinen Verteilung die Fortsetzung der erzgebirgischen Zone an, vom Mittelgebirge her über Tuttlingen in Schwaben bis in die Gegend von Schaffhausen. Die eigentlichen leitenden Spalten bleiben unter der mesozoischen Decke verborgen (49). Die auflagernden Kalkdecken bedingen wahrscheinlich die besondere Form der vulkanischen Ausbrüche in diesen Gebieten. Der Übertritt des Magmas aus den Spalten des Grundgebirges in das Kalkgrundwasser veranlaßt explosiven Durchbruch durch die Kalkschale und verhindert den Aufbau freistehender vulkanischer Aufschüttung. Die vulkanischen Zonen sind aber nicht scharf umgrenzt. Jenseits der Lausitzer Überschiebung gehören die zahlreichen kleinen und größeren Eruptionen in der Lausitz und in den Sudeten bis zur Hohen Lausche, zum Randenberge bei Benisch und bis zu den Basalten bei Mährisch-Ostrau der gleichen Epoche und dem gleichen Vorgange an.

3. Die Linien der wichtigsten der deutschen Bruchsysteme, die zahllosen Störungen, welche in nordwestlicher Richtung die mitteleuropäischen Horste durchschneiden, können erst in ihren weiteren Zusammenhängen richtig gewürdigt werden. Man verbindet sie mit der Gruppe von Dislokationen, welche KARPINSKY in großer Breite und mit Erstreckungen auf viele hunderte Kilometer mit nordwestlicher und westnordwestlicher Richtung durch das südliche Rußland verfolgen konnte. Jenseits des Kaspisees fügen sie sich an die großen Strukturlinien der innerasiatischen Gebirge. E. SUSS nannte sie Karpinsky'sche Linien und sprach von einer asiatischen Bruchrichtung in den europäischen Horsten (Antlitz III, 2. S. 32).

Die Haupttrichtungen gegen NW und WNW beherrschen die Grabensenkungen und Aufwölbungsdome des Kohlenbeckens von Donetz. Die NW-Richtung des Sandomierer Gebirges, das sich bei Kielce in Polen

aus der Ebene erhebt, scheint durch Störungen der gleichen Art vorgezeichnet, und weit im Norden sind auch die Brüche hierher zu rechnen, welche auf der Halbinsel Schonen, die mit eigenartigem Umriß als fremde Scholle angehängt ist an das schwedische Grundgebirge, Paläozoikum und Kreideschichten in NW gestreckte Horste und Gräben zerteilen.

Es ist bekannt, wie auffallend die Richtung in Mitteleuropa sichtbar wird, wo die Brüche mit Horsträndern zusammenfallen, z. B. am Rande des Eulengebirges gegen die schlesische Ebene und in den Umrissen vom Harz und Thüringer Wald. Die unter der norddeutschen Ebene verborgene Fortsetzung des Bruchsystemes erkannte man aus der Lage der erbohrten Salzhorste, insbesondere in den Strecken Paderborn—Münster und N von Magdeburg, an der Aller nördlich von Hannover und im Untergrund der Lüneburger Heide. Helgoland wird als ein Rest eines Horstes desselben Systemes gedeutet. Brüche und Schwärme von Brüchen in stets zunehmender Zahl, vergesellschaftet mit Flexuren, Faltungen und Überschiebungen enthüllen die fortschreitenden geologischen Aufnahmen in den mesozoischen Senkungsfeldern. So sind sie z. B. in mehrfach paralleler Folge vom Rande des Fichtelgebirges in das schwäbisch-fränkische Senkungsfeld verfolgt worden; weit im Inneren des Beckens treten an der langen Kissinger Spalte die berühmten Heilquellen zutage.

Aber die Nordwestrichtung wird nicht immer streng bewahrt; Abspaltungen in spitzen Winkeln und bis zur Nordsüdrichtung stellen sich ein. So streicht die sog. Amberger Spalte etwas mehr gegen West, sie begrenzt die aus Trias und Kreidesedimenten bestehende Bodewöhrer Bucht gegen das Grundgebirge des Bayerischen Waldes. Ihre mehrfach zersplitterten Ausläufer erstrecken sich, stellenweise von Erzgängen begleitet, westwärts weit fort, in das mesozoische Gebiet. Aber sie tritt auch in das Grundgebirge ein, und hier wird die Störung einheitlicher und großzügiger; in Form einer Kluft mit Gangquarzfällung durchschneidet sie geradlinig das alte Gebirge, 200 km lang, bis an das Mühlthal in Oberösterreich. Als »bayerischer Pfahl« ist der Quarzgang in der Literatur bekannt, der da und dort mit steileren Umrissen gleich den Resten einer zerfallenen Mauer aufragt über die sanfteren Abtragungsformen der benachbarten Granite und Gneise. Die an den Gang unmittelbar angeschlossenen kristallinen Gesteine sind aber in hohem Grade gepreßt und in serizitische Quarzschiefer, die sog. Pfahlschiefer, verwandelt worden.

Die gleiche Richtung gegen WNW wird von dem Randbruche zur Donau eingehalten. Aber mehr nordwärts gerichtet, mehrfach zerstückelt und winkelig abgelenkt, verläuft ein zweiter Quarzgang im Grundgebirge, der sog. böhmische Pfahl zwischen Furth und Tachau, und in nahezu nordsüdlicher Richtung zweigt die Keilberger Randspalte bei Regensburg ab vom Donaubruche.

Die Karpinskyschen Störungen des nordwestlichen Bruchsystemes

sind in Mitteleuropa nicht von vulkanischen Aufbrüchen begleitet. Häufig ist der südwestliche Flügel gesenkt, und an einigen Störungen der nordwestlichen Haupttrichtungen hat eine beträchtliche Überschiebung des nordöstlichen Flügels gegen Südwest stattgefunden. Die Unterschiebung am Elbbruche, welche bei Schloß Hohnstein unweit von Dresden Granit auf Kreide gebracht hat, steigert sich noch mehr zwischen Khaa und Hinterhermsdorf, wo der Granit 4 km übergreift auf die Quadersandsteintafel und noch kleine Reste von Rotliegend, mittlerem und oberem Jura in verkehrter Schichtfolge mit eingeklemmt worden sind. Weiter im Osten am Fuße des Jeschkengebirges und bei Liebenau südlich von Reichenberg ist der Bruch in eine Flexur mit gesenktem SW-Flügel übergegangen. Zersplitterungen und Ablenkungen gegen SO stellen sich ein, bis die ganze Störungszone in großem Bogen umschwenkt in die große SSW streichende Dislokation, welche durch den Streifen permischer roter Gesteine, des sog. Rotliegenden von Boskowitz, Rossitz und Mährisch-Kronau auffallend gekennzeichnet ist. Hier brechen die Störungen in größerem Maßstabe als anderwärts seitwärts ab von der allgemeinen Karpinskyschen Richtung.

Das niederschlesisch-böhmische Steinkohlengebiet bei Schatzlar und Radowitz wird gegen SO wieder durch eine NW-Störung begrenzt. Der Bergbau hat auch hier eine ausgedehnte Überschiebung der Steinkohlenformation über die Kreideablagerungen nachgewiesen.

Weit abseits von diesem Gebiete, zwischen Voglarn und Vilshofen (133) unweit Passau in Niederbayern, ist an einer der Störungen, die — wenn auch spärlich aufgeschlossen — vermutlich in größerer Zahl mit parallelem Verlaufe den Abbruch der Donau begleiten, Granit auf eine überstürzte Schichtfolge des mittleren und oberen Jura aufgeschoben; und bei Straubing an der Donau hat eine Tiefbohrung unter 600 m mächtiger Schichtmasse von Rotliegendem statt der erhofften Steinkohlenflöze abwärts zuerst senone, dann turone und cenomane Kreide durchfahren (50, 51).

Überschiebungen des Nordostflügels an steilen Flächen wurden auch an der Fichtelgebirgsrandspalte (bei Altenparkstein) an manchen Parallelbrüchen der mesozoischen Senkungsgebiete beobachtet. Doch fehlen auch nicht Aufschübe in entgegengesetzter Richtung. So ist der Nordoststrand des Thüringer Waldes zwischen Eisenach und Ilmenau — ein Abbruch von bedeutender Sprunghöhe — gegen Nordost bewegt, und am Nordrande des Harzes sieht man streckenweise den Zechstein unter das paläozoische Gebirge einfallen.

In diesen Erscheinungen offenbart sich die Wirkung einer gewaltigen tangentialen Zusammenpressung der ungleich gesenkten Schollen, die an ihren Bruchgrenzen übereinander geschoben wurden. Senkungsvorgänge beherrschen das Ganze. Die Überschiebung ist gegen den gesenkten Flügel, zumeist gegen SW, seltener nach der entgegengesetzten Seite gerichtet.

Wie die Verteilung der Sedimente lehrt, haben dabei die eigentlichen Horste seit Beginn der mesozoischen Zeit eine höhere Lage bewahrt. Die Zertrümmerung und Absenkung begann bereits im frühen Mesozoikum. Die Verschiebungen der Schollen hielten zeitweise gemildert und zeitweise gesteigert durch lange Zeiträume an. Ja es sind Anzeichen vorhanden, daß bis in die jüngste Zeit noch nicht vollkommene Ruhe und Starrheit eingetreten ist. Dies lehren einige neuere morphogenetische Studien, von denen weiter unten noch die Rede ist.

Zwar hat ANDRÉE (4) die Meinung geäußert, daß die überstürzten Lagerungen an vielen deutschen Horsträndern, wie z. B. am Nordrande des Harzes, und ebenso an der Lausitzer und an der erwähnten ostbayerischen »Überschiebung«, besser als »Überquellungen« (durch elastische Ausdehnung der Gesteinsmassen), denn als tektonische Überschiebungen anzusehen wären (l. c. S. 64), so kann doch die Vorstellung bei Allgemeinheit der Erscheinung keine ausreichende Erklärung geben, und die Sedimente auf den verschobenen Schollen wurden nicht nur geschleppt und verworfen und stellenweise überschoben, sondern wo sie mächtiger sind, auch zu Sätteln und Mulden gefaltet, die allerdings häufig noch nachträglich zerstückelt wurden. Hierher gehören die Vorgänge, welche STILLE (6 d, f) als saxonische und kimmerische Faltung unterschieden hat. Auch die (sog. posthumen) Faltungen der mächtigen Sedimentdecken des Pays de Bray und den Sattel des Boulonnais zählt STILLE mit Recht zur gleichen Gruppe von Vorgängen. Sie sind der Ausdruck der größeren Nachgiebigkeit und Formbarkeit der jüngeren, weicheren und gleitfähigen Sedimente neben den schon durch frühere energische Gebirgsbildung überwundenen und nur starrer zusammengepreßten, z. T. auch metamorphen älteren Gebirgskernen, und es versteht sich leicht, daß, wie auch STILLE ausführt, die Intensität der Faltung zunimmt mit der Mächtigkeit der Sedimente. Hierdurch allein erklärt sich auch STILLES Feststellung, »daß die saxonische Rahmenfaltung um so intensiver ist, je tiefer versenkt das von ihr betroffene Feld liegt«. Die weichere Decke über den zusammengepreßten oder übereinander geschobenen Schollen ist die Vorbedingung einer möglichen Faltung.

Gewiß sind diese Faltungen nicht in eine Reihe zu stellen mit Faltengebirgen von alpinem Typus, wenn auch dort der großartige Maßstab der Faltungsvorgänge nur in entsprechend mächtigen Sedimentmassen sich voll entwickeln kann, und man muß trotz des Widerspruches STILLES der Mehrheit der 1912 zu Greifswald versammelten Geologen recht geben, daß Senkung die mesozoischen Schollengebirge Mittel- und Norddeutschlands beherrscht und Faltungen nur als Nebenerscheinungen an den Bruchrändern auftreten (52).

STILLE legt auch hier besonderen Wert auf die Unterscheidung der beiden Bewegungstypen, der »epirogenetischen und der orogenetischen Vorgänge«. Zwar werden beide durch seitliche Kompressionen als Folge

der Verkleinerung der Erdoberfläche erklärt; die ersteren aber sollen die Entstehung des »Rohbaues bedingen«; sie sind als flacher Faltenwurf durch geringe seitliche Kompression gedacht, der aber doch »in der Hauptsache in Vertikalbewegungen zum Ausdrucke kommt«. Dieser ungemein langsam sich ausbauenden »Wellung« des Bodens von großer Spannung, der »Undation«, epirogenetisch kontinentbildenden Kräften, den »Evolutionen« des Bodens, stehen die »episodischen« faltenbildenden orogenetischen Vorgänge (Undulationen) gegenüber, die als »Erdrevolutionen« bezeichnet werden. Die lang andauernden und gleichsinnig sich fortentwickelnden Evolutionen werden durch episodische Revolutionen unterbrochen, die »während der Dauer ihrer Wirksamkeit den Bewegungssinn der Geosynklinalmassen weithin völlig umkehren«.

In seinem Gebiete sucht STILLE diese Ansicht durch ein Schema zu belegen. Der Rhythmus des Auf- und Absteigens einer Hebungssachse des Niederdeutschen Beckens wird dargestellt. Es sind nur absteigende und keine aufsteigenden epirogenetischen Phasen verzeichnet. Diese wurden von kurzen »orogenetischen« Hebungs- bzw. Auffaltungszeiten unterbrochen. Man sieht aber leicht, daß in diesem Schema die allgemeinen Bewegungen der Ozeane zum Vorschein kommen. Die epirogenetischen Senkungen entsprechen in der Hauptsache den ausgedehnten Transgressionen; die orogenetischen Hebungen verbreiteten negativen Bewegungen. Die erste epirogenetische Phase (wohl zweifelhaft im Zechstein und Buntsandstein) enthält den allgemeinen Meeressanstieg von der Trias bis zum obersten Jura. Es folgt der Rückzug zur Purbeck-, Portland- und Laramiezeit, der sich in gleicher Weise in England und bis nach Amerika bemerkbar macht; und mit ähnlichen Schwankungen beginnt in diesen tiefliegenden Gebieten das Übergreifen des Meeres im Neokom, wie in Frankreich, in Teilen von Spanien und Portugal; sie bildet hier, wie anderwärts, die Einleitung zu der Transgression der höheren Kreidestufen.

Gewiß haben auch Schollenbewegungen stattgefunden, die Störungen mannigfacher Art bezeugen dies, und durch sie werden die Abweichungen von dem allgemeinen Schema der weltweiten Transgressionen zumeist erklärbar sein. Auch die Wiederkehr annähernd gleicher Uferlinien bei verschiedenen Transgressionen, »die Beharrlichkeit der Bildungsräume« der Sedimente im mitteldeutschen Gebiet — nach dem Ausdrucke STILLES — weist darauf hin, daß die anschmiegsamere Wasserfläche, und nicht der brüchige Kontinent, die größeren, einheitlicheren Bewegungen vollführt hat. Ein Bezug aller Bewegungsvorgänge auf das Festland, das allzu starre Festhalten an der Höhenmarke des Ozeanpiegels, ergibt aber ein übermäßig verwickeltes Bild.

Das alte, großenteils tief abgetragene Faltengebirge wurde zerstückelt und ungleiche Bruchstücke gingen zur Tiefe; Schollenverschiebungen durch gewaltigen Seitendruck sind gefolgt. Zu verschiedenen Zeiten wurde der mächtige Bewegungsimpuls von neuem belebt. Aus den Ge-

ländeformen der alten Schollen wird geschlossen, daß die Bewegungen auch in der jüngsten Zeit noch nicht vollständig zum Stillstande gelangt sind. Auch die geringen Verschiebungen an der niederländischen Küste werden hier einzureihen sein. Anderen Bewegungsimpulsen verdanken die Zerberstungen der Schollen in der Richtung des Rheingrabens und in der erzgebirgischen Richtung ihre Entstehung.

Über das zersplitterte und unter gewaltigem Druck in den Fugen auf und nieder gleitende Schollenland hat das Meer wiederholt hinweggespült. Über den sinkenden Schollen wurden im Laufe der Zeiten die mächtigeren Sedimente angehäuft. Auf diese sind die Pressungen und Überschiebungen der liegenden Schollen in Form von Faltungen übertragen worden.

Man sieht keine Nötigung, außer diesen Vorgängen noch Gesamtbewegungen anzunehmen, welche das vielgliederte Land ohne Bruchbildung und ohne gegenseitige Verschiebung der Bruchstücke durchgemacht haben soll.

Wie klein erscheint aber die vertikale Komponente dieser Schollenverschiebungen, wenn man sie in ihrer gesamten Ausdehnung und in ihren weiteren Zusammenhängen überschaut. Die Nordwestverschiebungen in Mitteleuropa sind ja nur Ausläufer eines einheitlichen Bewegungsanstoßes, der einen großen Teil des asiatischen Kontinentes ergriffen hat.

Schluß folgt.
