

6. Zum Problem der Grabenbildung.

VON HERRN MAXIMILIAN WEBER, München,
Technische Hochschule.

I. Historisch-kritische Einleitung.

Im Jahre 1827 hatte E. DE BEAUMONT von einem Jura-berge bei Solothurn aus die Aussicht auf Schwarzwald, Vogesen und das dazwischen in der Tiefe liegende Rheintal genossen und dabei den Eindruck gewonnen, daß es sich geologisch um ein in O—W-Richtung gespanntes Gewölbe handle, dem der Schlußstein fehle; dieser eben habe durch seine Einsenkung die Rheinebene gebildet, während zu beiden Seiten die Widerlager stehen geblieben wären. Das Gewölbe dachte sich BEAUMONT in der Richtung des Rheintales tonnenförmig langgestreckt; die hebende Kraft sei zentrifugal gewesen, also aus der Tiefe gekommen; die äußere Schale dieses Stückes mußte sich einer vergrößerten Fläche anpassen, sie mußte reißen, und zwischen den sich erweiternden Rissen konnten einzelne Schollenstücke in die Tiefe sinken, wie Beispiele an alten Gewölbebauten zeigen: wenn die Seitenwände des Baues auseinanderweichen, geht der Gewölbeschlußstein zur Tiefe (zit. nach VAN WERVEKE, Entstehung des Mittelrheintales, Mitt. Ges. f. Erdkunde, Straßburg, 1913). — Ein Einwand erhebt sich hier sofort: wenn das Gewölbe durch eine hebende also zentrifugale Kraft aus der Tiefe her entstanden gedacht wurde, so mußte diese Kraft, wenn sie nicht vorher wieder rätselhafter Weise sich in die Tiefe zurückgezogen hatte, doch auch den Schlußstein genau so wie die Widerlager am Einstürzen hindern, und es konnten höchstens in der Richtung des Rheintales, so wie an jedem Faltensattel, mehrere schmale Risse auf der Höhe des Gewölbes entstehen mit sekundärem Nachstürzen der Ränder, niemals aber eine so breite Senke.

Nach E. SUSS (Antlitz der Erde) sind Schwarzwald-Odenwald einerseits, Vogesen und Hardt andererseits stehengebliebene „Horste“; die Umgebung zu beiden Seiten wie auch in der Mitte, im heutigen Rheintal, hätte sich nur gesenkt. — Die Gewölbethéorie war damit aufgegeben, aber die ziemlich geradlinige Erstreckung des Rheintales zwischen parallelen Rändern zunächst nicht weiter erklärt.

LAPPARENT sprach sich 1887 wieder für vertikale Hebung aus, und zwar für die beiden seitlichen Gebirgsmassen isoliert.

Demgegenüber betonte ECK 1891, daß es sich höchstens um Halbhorste handeln könne, da wenigstens am Ostrande des Schwarzwaldes nordsüdlich verlaufende, das kristalline von dem Sedimentgebirge trennende, Verwerfungen nicht vorhanden seien. — Er näherte sich also wieder mehr der BEAUMONTSCHEM Gewölbetheorie.

VAN WERVEKE (a. a. O.) nimmt seit 1892 zwei Gewölbe an, aber ungefähr quer über das Rheintal orientiert, dazwischen die Mulde Pfalzburg—Langenbrücken. Diese Gewölbe seien Falten der Erdrinde, zurückzuführen auf die gleiche Ursache, wie die Faltung des Juragebirges und der Alpen. Die Spalten hält er für Begleiterscheinungen der Faltung und faßt damit Faltung und Senkung im Gegensatz zu SUESS einheitlich zusammen; also nicht radiale Senkung liege vor, sondern Faltung begleitet von Senkung, und zwar letztere in der Richtung quer zu den Falten. Sein Hauptargument ist dabei, daß man bei der SUESSSchen Horsttheorie für frühere Zeiten einen sehr viel höheren Meeresstand annehmen müsse, bei seiner Faltungstheorie dagegen nicht. „Nicht der Zug der Tafelländer“, schreibt VAN WERVEKE (Entst., S. 38), „hat die höhere Lage der Gebirge bewirkt, sondern die infolge seitlichen Drucks erfolgte Emporwölbung dieser selbst. Die Tafelländer wurden bei diesem Vorgang mitgehoben, wenn auch in geringerem Maß, und mitgefaltet.“ „Druck von S- und SO-Richtung hat das älteste und das variskische Gebirge gestaucht, und Nachwirkungen dieses Drucks haben die aufwärtsstrebende Bewegung während des Mesozoikums unterhalten. Er hat später den Jura gefaltet und Vogesen mit Schwarzwald hochgepreßt. Auf Druck aus der gleichen Richtung führe ich das Aufreißen der im großen ganzen nordsüdlich gerichteten Spalten des Rheintalgrabens zurück, sowie einen Teil der Verwerfungen der Gebirgs- und Tafelländer.“ Wie er sich das Niedersinken der Grabenpartien vorstellt, bezeugt das wiederholt von ihm gebrauchte Beispiel eines durch zwei parallele Schnitte in drei Streifen geteilten Kartons: beim Zusammendrücken in der Richtung der Schnitte infolge entsprechender Handhabung wölben sich die beiden äußeren Partien empor und erweitern sich besonders in der Mitte nach außen; die Mittelpartie sinkt ein; daher habe sich die besonders tiefe Mulde, welche die Kalisalze beherbergt, am Fuß der höchsten

Auftragungen der Gebirge gebildet. — Damit wäre also längs der Rheintalachse gewissermaßen eine Mulde gegeben als das negative Äquivalent der Sättel zu beiden Seiten. Es kommt aber, scheint mir, nicht ganz klar zum Ausdruck, wie die Risse entstanden sind und warum zwei parallele Haupttrandspalten sich bilden mußten. Auch der noch weiter von ihm angegebene Versuch mit dem gehefteten Buche, das, an den Ecken gefaßt und gegen die Mitte zusammengedrückt, ein Auseinanderweichen der Buchblätter gleich Bildung von Spalten zeigt, ist wohl nicht sehr deutlich, wenschon ein guter Gedanke zugrunde liegt.

DEECKE denkt sich (N. Jahrb. 1908, II, S. 47), daß infolge der Abkühlung des Planetenkörpers regelmäßige Risse in der Kruste entstanden, die dem Magma zum Austritt dienen konnten; erweiterten sich später diese Klüfte durch fortschreitende Abkühlung, so mußten die inzwischen darüber gelagerten Sedimente einsinken und es entstanden Gräben nach Art des oberrheinischen, des Roten Meeres und der afrikanischen.

REGELMANN (Zentralbl. f. Mineral. 1910, S. 307) stellt sich, wesentlich auf Grund seiner Erdbebenforschungen, anscheinend auf die Seite VAN WERVEKES; nicht ein Zug der Tafelländer in die Tiefe bedinge die höhere Lage des Schwarzwaldes, sondern eine infolge seitlichen Druckes (woher? Verf.) erfolgte Emporwölbung des Gebirges.

KRANZ (Zentralbl. f. Mineral., 1911) steht ganz auf dem Standpunkt von SUSS; einer allgemeinen Senkung sollen einzelne stehengebliebene Horste entsprechen.

O. REIS (Geogn. Jahresh. 27, 1915) nimmt für die Bildung des Rheintales nur Zerrung in Anspruch, die senkrecht zur Längserstreckung des Grabens gewirkt habe, und nicht etwa durch Druck von S her, sondern die Loslösung des mittleren Stückes soll durch den randlichen Zug der großen Senkungsfelder in Lothringen und Schwaben auf den früher einheitlichen Schwarzwald—Vogesenhorst bedingt sein; also wäre der Rheingraben zwischen Zerrungsrisen eingesenkt. — Dann müßten aber doch die Gesteine des kristallinen Grundgebirges und der überlagernden Sedimente so elastisch sein, daß sie die Zerrung ohne besonderen Bruch bis auf die Höhe des Horstes hätten übertragen können, wo dann erst der Reiß erfolgt wäre. Selbst das hochplastische Gletschereis zeigt aber beim Wegschreiten über einen Buckel des Untergrundes Zerrungsrisse nicht nur auf dem höchsten Punkt,

sondern auch an den weniger gezerzten Seiten. Von Bedeutung scheint mir auch noch, daß ja STEINMANN bei Alpertsbach und SALOMON am Katzenbuckel Spuren von Jura nachgewiesen haben, daß also wenigstens zu der Zeit überhaupt kein besonderer Horst bestanden haben kann, von wo beiderseits Abgleiten hätte erfolgen können.

CLOOS (Geol. Rundsch., VII, 1916) erklärt die Bildung von schmalen Gräben und Horsten durch Sprungkreuzungen, wobei infolge isostatischer Ausgleichsbewegung bald der eine, bald der andere Flügel gehoben oder gesenkt wurde; die mittleren schmalen losgelösten Partien würden dann zu Horsten oder Gräben. — Wenn man auch die Lehre vom isostatischen Ausgleich in den Tiefen an die Stelle der allgemeinen Kontraktion setzen wollte, so müßten doch innerhalb der starren Kruste bei Hebungen und besonders bei Senkungen notwendig immer auch im Sinn von VAN HISE (Journ. Geol. 1898) tangentielle Druckwirkungen sich einstellen, deren Resultate irgendwie als solche erkennbar sein müßten, zumal CLOOS wiederholten Wechsel der Bewegung an beiden Flügeln postuliert.

Nach H. VON HÖFER (Peterm. Mitt. 1918) ist der obere Rheingraben das Muster eines vulkanischen Senkungsgrabens, den man auch als Zerrgraben bezeichnen könnte.

STILLE endlich (diese Zeitschr. 1919, S. 168) scheint den Rheintalgraben wesentlich als Undationsgraben aufzufassen, also als Produkt einer weiträumigen epirogenetischen Faltung, die in äquatorialer Richtung gewirkt hat. „Die Bruchzonen, die heute die Massive umsäumen (also wohl auch die Randspalten des oberen Rheintales? Verf.), ergeben sich als nachträgliche, nämlich in einer jüngeren orogenetischen Phase entstandene Zutaten zu den bruchlos aufgewölbten Schwellen“ (S. 193).

Andere Autoren, wie DE MARTONNE (Traité de géogr. phys., Paris 1909) und F. MACHATSCHKE (Bibl.-geogr. Handb., PENCK-Festband, 1918) haben allerdings, wie STILLE (a. a. O., S. 165) bemerkt, vom geographisch-morphologischen Standpunkt aus immer daran festgehalten, daß die Epirogenese mit Verwerfungserscheinungen verknüpft sei, wie die Orogenese. Und VAN WERVEKE hat, wie wir bereits früher gesehen haben, ebenfalls die Bruchbildung im Rheintal in Zusammenhang gebracht mit einer Faltung. Es wird sich also hier um die Frage handeln: liegt, sofern man überhaupt Epirogenese und Orogenese immer scharf genug voneinander trennen kann, im Oberrheingebiet erstere oder letztere

vor, und wenn erstere, sind für sie dann Verwerfungsspalten simultaner Entstehung vollständig auszuschließen, wie STILLE meint?

Ich kann mich hierin STILLE nicht anschließen; und im übrigen entsprechen STILLES Ausführungen ganz dem, was sich allenfalls nur über die Bildung der Längsgräben sagen läßt, während ich andere Grabengebiete als Quergräben von ersteren abtrenne, weil sie nicht nur morphologisch, sondern auch genetisch von ihnen verschieden sind. Darüber im folgenden. —

Zur Lösung der Frage hat man nun weiter die Fallrichtung der Randspalten festzustellen gesucht. Nach ANDREAE (Th. Reflex. Verh. nat.-hist.-med. Ver. Heidelberg, N. F. Bd. 4, 1887) sollten die großen Senkungsfelder in Schwaben und Lothringen allmählich zur Tiefe gehen, dabei randlich einen permanenten Zug auf die stehengebliebenen Horste ausüben und dadurch Abbruch und echte Verwerfungsspalten mit nach außen fallenden Bruchflächen erzeugt haben. Die Hauptspalten sollten also nach unten divergieren; oberflächlich mußten allerdings die prominenten Horstecken wegen mangelnder Unterstützung nachrutschen und so nachträglich konvergierende Spalten sich einstellen. Zerrung senkrecht zur Grabenrichtung wäre also auch hier die Ursache der Grabenbildung. — Der oben erwähnte Einwand von ECK läßt sich hier wieder anführen.

SALOMON (diese Zeitschr., 55, 1903, S. 412) kommt ebenfalls zu dem Schluß, daß die Randspalten nach unten divergieren, führt aber das Einsinken nicht auf vertikales Absinken infolge des eigenen Gewichts, sondern auf seitlichen Druck zurück, der auf schräg ansteigenden Bruchflächen wirkend die zentrale Partie in die Tiefe drücken mußte. Also auch hier Bewegung senkrecht zur Richtung des Grabens, aber diesmal auf ihn zu. — Es ist aber, glaube ich, nicht ganz einfach, sich vorzustellen, daß durch tangentialen O—W-Druck nicht, wie zu erwarten, ein einfacher Sattel, sondern in der Mitte eine von beiden Seiten her überschobene Scholle entstanden sein soll.

Für J. WALTHER (diese Zeitschr., 1914, Mon.-Ber. S. 304, Fußnote) gibt es Gräben mit senkrechten, mit nach unten konvergierenden (Leuchtenberggraben) und mit nach unten divergierenden Spalten (Rheingraben). Die Bildung des letzteren erläutert er in seiner Vorschule für Geologie (1910) durch tangentiale Pressung senkrecht zur Längserstreckung

des Grabens, indem durch jene Anordnung der Spalten zu beiden Seiten die Horste als zwei sich nach unten verjüngende Teile heraufgedrängt würden. Er schließt sich also in bezug auf die Richtung der Bewegung an SALOMON an.

In der Tat ist an verschiedenen Stellen im Rheintal das Einfallen der Spalten nach dem Gebirge zu gerichtet. KLEMM (diese Zeitschr., 55, S. 406) beschreibt solche vom Odenwaldrand; v. THÜRACH und v. KOENEN bringen ähnliche Andeutungen (zit. nach BLÖSCH, Beil.-Bd. 29); nach BUXTORF fallen die Schichten der Rheintalflexur bei Basel wirklich nach O. Das könnte aber nach BLÖSCH als sekundäre Erscheinung erklärt werden, die nur die oberen Teile betroffen hat, wo eben das Widerlager fehlte. Nach VAN WERVEKE (Entst., S. 53) sind aber am linken Grabenrand alle Brüche als gewöhnliche Verwerfungen ausgebildet, sie fallen nach dem tieferliegenden Teil ein; Überschiebungen seien dort nicht bekannt, wohl aber im Innern des Grabens, z. B. in den Schächten des Kaligebiets. Auch für den Schwarzwald- und Odenwaldrand läßt VAN WERVEKE nur echte Verwerfungen gelten, während ANDREAE und SALOMON (nach WALTHER, a. a. O., S. 285) am Fuß des Schwarzwaldes mehrfach das widersinnige Einfallen der Randbrüche bestimmt erkannt haben. —

Aus vorstehenden Zusammenstellungen geht hervor, daß auf diese Weise noch keine Klarheit gewonnen wurde, vielleicht weil primäre Hauptspalten und sekundäre Nebenspalten (die bekanntlich auch senkrecht zu den Hauptspalten stehen können), nicht genügend voneinander unterschieden werden konnten.

Man suchte nun die Richtung der Bewegungen festzustellen. LEPLA (Jahrb. preuß. Geol. Landesanstalt f. 1892) hat auf in der Nähe großer Verwerfungen sich einstellende, aber auf flache Bewegungen deutende Schubharnische hingewiesen. REIS hat derartiges in seiner Potzbergerarbeit als Ausgleichsbewegung gedeutet. Systematische Untersuchungen darüber haben SALOMON und seine Schüler, besonders DINU angestellt (diese Zeitschr., 1911, S. 496) und nachfolgende Zahlenverhältnisse über das Streichen und Fallen der Kluftharnische erhalten. Sie konnten am Rhein zunächst Klüftungen parallel und senkrecht zu den Haupttrandsprüngen als longitudinale bzw. transversale Spalten feststellen. Die longitudinalen betragen etwa 56%, also etwas über die Hälfte der Harnischflächen; von diesen longitudinalen zeigen 14,5% vertikale Teilbewegungen, 3,6%

rein horizontale, und 20% hatten größere Horizontal-komponente, wobei etwa doppelt so viel nach S wie nach N einfallen. Für die Querklüfte sind die Zahlen vertikal 1,2%, rein horizontal 6,7%, und 45% haben größere Horizontal-komponente, wobei 51% gegen den Graben, 41% gegen das Gebirge zu ansteigen. Nach RÖHRER (Diss. Heidelberg, 1916) überwiegen auch im Schwarzwald die longitudinalen Spalten bei weitem (fast 81%), und die horizontale Streifung ist auch dort viel häufiger.

Die überwiegende Zahl der hauptsächlich oder ganz horizontalen Komponenten deutet natürlich auf Überwiegen von tangentialen und flachen Teilbewegungen; aber REIS (a. a. O., S. 255) meint, man sollte eher an Bewegungen denken, welche mit der Schwere als gegen die Schwere vor sich gehen, also eher an Dehnungsvorgänge als wie an Überschiebungsvorgänge im Sinne von SALOMON. Weiter wird von REIS gegen SALOMON angeführt, daß die Rheintalverwerfungen mehrere Sättel und Mulden überschreiten und dabei in diese abgelenkt werden, wobei sie die Mulden vertiefen; das wäre aber bei SALOMONS Überschiebung nicht denkbar.

Von hohem Interesse erscheint mir, daß eigentlich nur Klüfte und Harnische parallel und senkrecht zum Rheintalgraben angeführt werden. Die einen davon werden die primären, die anderen die sekundären sein, denn eine tangentiale Kraft, welche diese Trennungen hervorgebracht hat, kann, wie später noch zu erörtern sein wird, nicht gut unter 45° dazu angreifend gedacht werden. Aber welches war nun die Richtung der Kraft? SALOMON nimmt, wie wir sahen, die Ostwestrichtung als bestimmend an, wodurch die in NS durch die Alpenfaltung über die betreffende Gegend bewirkte Verringerung der Horizontalmaße auch in der Ostwestrichtung hervorgerufen worden sei (Mitt. Bad. Geol. Landesanst., 1901, S. 211). Aber es fragt sich doch, ob nicht die longitudinalen Klüfte die Hauptrichtung der tangentialen Kraft in sich schließen, etwa im Sinne von VAN WERVEKE.

J. WALTHER (a. a. O., S. 314) hat im Anschluß an SALOMON und gestützt auf eigene Beobachtungen im deutschen Mittelgebirge darauf hingewiesen, daß ganz allgemein vertikale Rutschstreifen zu den Seltenheiten gehören, daß horizontale oder fast horizontale überwiegen, und daß daher der von E. SUSS aufgestellte Unterschied zwischen radialen (vertikalen) und tangentialen (horizontalen) Bewegungen in

dieser Schärfe nicht bestehe. Sein orogenetisches Spaltenmodell sollte zeigen, daß sich alle tektonischen Bewegungen und ihre Produkte, wie Klüfte, Brüche, Gänge, kleine Gräben (durch Zerrung infolge Wirkung der Schwerkraft in toten Winkeln) und auch viele Horste auf denselben tangentialen Seitenschub zurückführen lassen, wie Falten und Überschiebungen. Über die Orientierung des tangentialen Druckes im Verhältnis zu den Spalten äußert er sich hier nicht näher, verwahrt sich nur gegenüber KRANZ und QUIRING (Fußnote S. 304) dagegen, auch die nach unten parallelen oder konvergierenden Randspalten bei Grabenbildungen durch Druck senkrecht zur Grabenachse erklärt zu haben. —

Ziehen wir zum Vergleiche auch noch die Erklärungen heran, die für die Bildung der afrikanischen Gräben versucht wurden. Bezüglich der SUESSschen Hypothesen muß man TRETZE beistimmen, wenn er schreibt (Einige Seiten über E. SUESS. Jahrb. k.k. Geol. Reichsanst., 1916, 66, S. 437): „über die Entstehung drückt er sich allerdings nicht ganz klar aus; einmal nimmt er Einsenkung, das andere Mal Zerrung und Zerreißung an, ohne näher zu erläutern, wie diese beiden Vorgänge zusammenhängen.“ Gerade beim afrikanischen Graben redet SUESS von Zerreißung durch Kontraktion (Antl. III, 2, S. 452), Sprengung der äußeren Hülle des Planeten in der Richtung senkrecht zu den Sprüngen. — Das ist im Grunde wohl ganz richtig; aber woher kommen diese Spannungen? Das hat SUESS nicht weiter zu erklären unternommen.

Neuerdings hat O. E. MEYER (die Brüche in D.-O.-Afrika, N. J. B., Beil.-Bd. 38, 1915) die Theorien zusammengestellt und beleuchtet, welche zur Erklärung der Gräben in dortiger Gegend aufgestellt wurden, seit SUESS sich mit dem Problem befaßt hatte. So möchte OBST die Entstehung der Sprünge auf den Einbruch des Indischen Ozeans zurückführen, also gleichfalls auf Zerrung; MEYER widerlegt diese Annahme mit verschiedenen Gründen, ebenso die Vermutung WEGENERS, daß die Gräben und Brüche im Sinne seiner (bisher absolut unerwiesenen) Hypothese als beginnende Abspaltungen zu deuten seien. Auch UHLIGS Ansicht, daß Überschiebungen vorliegen, wird von MEYER abgelehnt, weil die Leitung tangentialen Druckes über breite Schollen eine physikalische Unmöglichkeit sei (S. 881)¹⁾. Mehr Aussicht

¹⁾ Wenn hiermit, wie es scheint (S. 870), die Ansicht AMPFERERS gemeint ist, daß Druck nur Zertrümmerung der Gesteine bewirke, aber keine seitliche Verschiebung, so muß

hat nach MEYER der Gedanke von UHLIG und JÄGER, daß die Brüche und Gräben in den First von Schwellen eingesunken scheinen; er hat nur den Einwand, daß die Sohlen der Gräben dann nicht tiefer liegen dürften als das Niveau des Nebenlandes. — Nun ist dieses Niveau, da gegen den Graben zu wohl immer langsames Ansteigen stattfindet, wohl schwer zu bestimmen; und die Schwellen können doch auch der lokale oberflächlich sichtbare Ausdruck einer auf breiterer Basis aufgerichteten und daher auf Vorgänge in größerer Tiefe beruhenden Aufwölbung sein.

II. Vergleiche der größeren Grabensenkungen.

Das sind im ganzen die Unterlagen, die uns bei Beurteilung des Problems der Grabenbildungen zur Verfügung stehen und zwar auch in den geologisch bestbekanntesten Grabengebieten. Man sieht, es sind eine Menge Einzelheiten bekannt, aber manche davon verschieden aufgefaßt, wie das Einfallen besonders der Randklüfte, und demgemäß ist eine einheitliche Meinung trotz aller Vorarbeiten nicht zu erzielen gewesen.

In einem solchen Stadium tut man sicherlich gut, weiten Abstand zu nehmen, um einen größeren Überblick zu bekommen, und besonders auch analoge Fälle in Betracht zu ziehen. Sind dieselben auch in fernen Erdteilen zu suchen, wohin naturgemäß die Forschung bisher nur mangelhaft vordringen konnte, so genügen vielleicht die bisher bekannten geologischen Tatsachen im Zusammenhalte mit der Morphologie der Landschaft, um zu einem gewissen Resultate zu gelangen.

Wenden wir uns zum großen afrikanisch-syrischen Grabengebiet, so tritt uns allerdings zunächst der resignierte Ausspruch von SUESS (Antl. III, S. 316) entgegen: „Jeder Versuch einer Erklärung aus örtlichen Gründen, aus einer besonderen nach unten dislozierenden Lage der Verwerfungsflächen usw., schwindet gegenüber der außerordentlichen

ich allerdings gestehen, daß ich dieser Auffassung im Hinblick auf bekannte große Ueberschiebungsgebiete verständnislos gegenüberstehe; zeigt ja auch schon die Betrachtung treibender Eisschollen, daß bei Berührung mit Hindernissen zunächst wohl der Rand zertrümmert wird, aber gleichwohl infolge allmählicher Verteilung des Druckes auf größere Masse dem fremden Impulse durch seitliches Ausweichen nachgegeben werden kann, ohne daß weitere Zermalmung eintritt.

Ausdehnung Das muß in der Eigenart des Planeten selbst begründet sein.“ SÜESS nimmt Spannungen in der äußeren Hülle der Erdkugel an, die senkrecht auf die Richtung der Sprünge, hier senkrecht auf den Meridian gewirkt haben. „Das ist Zerrung durch Kontraktion und zwar haben die Klüfte sich von oben nach unten geöffnet.“

So hält SÜESS jeden näheren Erklärungsversuch für unmöglich. Vielleicht aber gelingt es doch, die Induktion zunächst bis auf eine bekanntere Instanz durchzuführen, als dies etwa die „Eigenart des Planeten“ ist.

Das eigentliche Grabengebiet beginnt südlich des Nyassa, geht westlich von Kilimandjaro zum Rudolfsee, hört dort wahrscheinlich nach N sich verflachend auf, wie ich früher geschrieben habe (Mitt. Geograph. Ges. München. 1906); eine Abzweigung geht aber nach NO über den Stephaniese zum Omotal und erreicht südlich von Ankober den östlichen Steilabsturz des abessinischen Hochlandes und damit den Graben des Roten Meeres. Im N des Nyassasees erfolgt eine Spaltung des Grabens, und eine Abzweigung ist über den Tanganjika und den Albert-Nyansa verfolgt, und schließt dort das merkwürdige und interessante Gebiet des Ruwenzori in sich. Zwischen diesem etwas bogenförmig streichenden zentralafrikanischen und dem oben geschilderten ostafrikanischen Graben liegt das Bruchgebiet des Viktoria-Nyansa, das, wie sich immer mehr herausstellt, ebenfalls von großen nordsüdlich streichenden Brüchen bedingt ist. Im W zieht das kurze Grabenstück des Upembograbens nach NNO in der Richtung des Albert-Nyansa, östlich der Usambaragrabens in NNW gegen den Kilimandjaro; in der Mitte zwischen zentral- und ostafrikanischem Graben der Usurigraben nach NO gegen den Kilimandjaro. Der Meru- und Banqueolosee sollen gleichfalls in SN streichenden Grabenstücken liegen. Östlich vom Nyassasee sind eine Menge von SN streichenden Brüchen bekannt geworden; aber auch schon in Südafrika selbst finden sich noch welche. Von O her die meridionale Lebombo-Verwerfung; nach MOLENGRAAFF zum System der afrikanischen Brüche gehörig; weiter im Lande die über vier Breitengrade sich erstreckende „Grande Faille de l'Est“ MOLENGRAAFFS längs des 27. Meridians, und in kurzer Entfernung ein weiterer derartiger Bruch in 25° östlicher Länge; auch die NO streichende Küste von Durban und die ebenso streichende Ostküste Madagaskars mit ihrer nördlich anschließenden Linie von

vulkanischen Inseln sind in diesem Zusammenhang schon genannt worden.

Von besonderem Interesse scheint hier, daß genau so wie der Rheingraben ungefähr senkrecht steht zum Streichen der gegen Nord vorgefalteten Alpen und des Kettenjura, hier in Südafrika ein großes Gebirge, die Zwarten Berge, gegen N also gegen das afrikanische Grabengebiet vorgefaltet, senkrecht dazu von W nach O verläuft, um dann weiter gegen O infolge Abbruches auf unbekannte Entfernung hin sich im Indischen Ozean zu verlieren.

Wichtig erscheint auch, daß alle diese afrikanischen Grabenbildungen auf einem Hochplateau sich ausgebildet haben etwa analog den Rheingebirgen, daß in der Karroo sich eine Vortiefe zwischen sie und das querstreichende Gebirge einschleibt, analog etwa dem Schweizer Molasseland, und daß außer den großen Seebecken, den mächtigen Lavaergüssen und Vulkanpfröpfen sich besonders im Ruwenzorigebirge in den Längsverlauf des Grabens ein 80 km langer „Horst“ (n. SUESS) einlagert, der, nicht vulkanischen Ursprungs, sich um etwa 2000 m über die ohnedies meist gegeneinander ansteigenden Ränder des Grabens erhebt, was wohl kaum anders als durch irgendwelche Hebung gedeutet werden kann, der im Rheingraben die in die Höhe tauchenden Juraschollen des Isteiner Klotzes und der Berge bei Freiburg entsprechen könnten.

KRENKEL (Geol. Rundsch., I., 1910, S. 205) bemerkt in seinem Sammelreferate, daß die Faltung in Südafrika mesozoisch war; nach SUESS (Antl. III, 2, S. 326) hörte sie schon im Perm, höchstens Trias auf. Die Zertrümmerung des afrikanisch-indischen Kontinentes setzte erst seit dem Lias ein. Die Gräben sind von verschiedenem Alter; die NO gerichteten älter als die meridionalen. Vielleicht dauert die Grabenbildung heute noch an (SUESS, Denkschr. Akad. Wiss., Wien 1891, S. 578). Eine untere Grenze für das Alter ist nur dadurch gegeben, daß viele Brüche die Karrooformation durchschneiden. Nach GREGORY soll im Eocän zuerst Aufwölbung über dem Graben stattgefunden und später in drei Stadien (Eocän, Pliocän und Pleistocän) die Bruch- und Grabenbildung eingesetzt haben.

Gehen wir weiter nach N, so findet sich an der Südspitze der Halbinsel Sinai die Kreuzung von zwei der größten linearen Bruchsystemen, die auf der Erdoberfläche

bekannt sind, des erythräischen in der Richtung Suez, und der Jordanlinie in Nordsüdrichtung. Letztere hat nach SUËSS (Antl. II, S. 477) nach S keine Fortsetzung. Das eigentliche syrische Grabengebiet umfaßt nach N zu das Wadi Arabah, das Jordantal mit dem Toten Meer, den Oberlauf des Orontes und geht bis Marasch am Taurusgebirge. Besonders im W bis zur Küste sind zahlreiche parallele Brüche konstatiert (vgl. Karte bei BLANCKENHORN, Handb. Reg. Geol., V. Syrien, Tafel III); der geradlinige Abbruch der Küste von Palästina gehört selbst dazu, und sie sind auch Veranlassung, daß es in Syrien keine sogenannten Zwillingshorste im Sinne von DIENER gibt, die zueinander ganz symmetrisch sich verhaltend den Flügeln einer einzigen großen, im Scheitel geborstenen und eingestürzten Antiklinale oder großen beulenförmigen Wölbung entsprechen könnten (BLANCKENHORN, *ibid.* 117).

Die bekannte Virgation nach NO und ONO möchte BLANCKENHORN hauptsächlich durch heftigen Druck von seiten eines größeren Senkungsfeldes aus O und SO erklären, also nicht durch Zug; nebenbei soll aber noch ein im N geleisteter Widerstand durch das ungefähr quer vorgelagerte und nach S seine Falten vordrängende Taurusgebirge eine Ursache dazu abgeben (BLANCKENHORN, *ibid.* 57). Man kann sich nun, glaube ich, sehr gut vorstellen, daß gerade der Druck im N den Hauptfaktor darstellte, indem das hier ungefähr quer vorgelagerte, nach S gefaltete, Taurusgebirge das vor ihm liegende Tafelland gestaut und seine Bewegungsrichtung in Form von meridionalen Brüchen auf dieses Hochplateau übertragen hat. Auch E. SUËSS (Antl. III 2, S. 314) scheint eher eine Deformation der Erde in der Nähe des taurischen Faltenbogens für die Aufwölbung des Bodens und die Zersplitterung der Brüche heranziehen zu wollen.

Vielleicht ist es in diesem Zusammenhang nicht ganz unwichtig, daß die von Damaskus gegen Palmyra abzweigende streifenförmige Senke verlängert bei Mossul wieder ungefähr senkrecht auf die dort gegen NW streichenden Kämme des iranischen Gebirgsbogens führt, der gegen SW also dieser Senke entgegengefaltet ist. — Die Tauriden entstanden postaquitanisch, die Jordanbrüche im Diluvium, das Rote Meer zwischen Pliocän und Diluvium.

Die vom Djebel Hauran gegen Djof nach SO streichende Grabensenke des Wadi Sirhan ebenso wie der

kurze Nordwestgraben in Richtung der Bai von Akka, sowie die Grabenbrüche, welche vielleicht das Niltal von Kairo bis Theben einschließen, gehen wohl im allgemeinen der erythräischen Senke parallel und müssen mit dieser in Zusammenhang gebracht werden. —

So kennen wir jetzt außer bei dem rheinischen noch bei den zwei größten Bruch- und Grabensystemen die auffallende, aber bis jetzt anscheinend nicht bemerkte Tatsache, daß immer etwa senkrecht zu ihnen ein Faltengebirge verläuft, das sich in der Regel früher, beim Rheingraben aber später als sie selbst gebildet hat und seine Falten gegen den Graben vortreibt.

Damit ist zweifellos die Möglichkeit festgestellt, daß auch ein genetischer Zusammenhang zwischen Graben- und Faltengebirgsbildung besteht, daß also dieselben Kräfte, welche infolge Überwiegens des einseitigen Schubes ein queres Faltengebirge aufrichteten, auf dem diesem Gebirge vorliegenden noch ungefalteten Vorland Brüche erzeugten, die zum Teil zu Horsten, zum Teil zu Gräben und Staffelgräben führten, teilweise nur als Brüche mit Verquetschung der Ränder sich ausbildeten. Im Verhältnis zu den entsprechenden Faltengebirgen sind derartig orientierte Gräben als „Quergräben“ zu bezeichnen.

Diese Möglichkeit wurde für mich zur hohen Wahrscheinlichkeit durch folgende Erfahrungen:

In Band I des Antl., S. 169, behandelt E. SUSS die Nordsüdbrüche des Hochplateaus von Utah und gibt außer einer Kartenskizze auch ein Stereogramm eines Teils der Musinia-Zone nach GILBERT und POWELL. Der Anblick zeigt, daß es sich dabei um einen typischen Graben zwischen zwei fast parallelen Randbrüchen handelt. Der zentrale gesunkene Streifen ist zum Teil spießkeckig gebrochen, was für unsere spätere Betrachtung von Bedeutung sein wird. Die äußerst vorsichtigen amerikanischen Geologen, besonders auch DUTTON, glauben jeden horizontalen Druck ausschließen zu müssen und nehmen eher an, daß ein Einsinken zwischen auseinandergezogenen Gebirgstteilen erfolgt sei. Nach der Ansicht, die ich mir an den vorgenannten Grabengebieten gebildet hatte, konnte, da Längsgräben meist nur zwischen und an Gebirgsfalten, weniger oft auf

einem ungefalteten Hochplateau vorkommen, ebenfalls ein quer dazu verlaufendes Faltengebirge vorhanden sein. Ein solches war mir aber bei dem bekannten Verlauf der Rocky Mountains und Basin Ranges zunächst nicht erinnerlich. Bei genauerem Nachsuchen fand ich aber direkt am Nordrand des Bruchsystems und quer dazu von O nach W streichend das Uintagebirge, das zwar keine nach S überkippte, sondern stehende Faltung zeigt, aber natürlich ebenfalls demonstriert, daß seitliche Druckrichtung über die queren Falten hinaus ein longitudinales Bruchsystem erzeugen kann. — Die Brüche des Coloradoplateaus stehen vertikal und lassen zwei oder drei verschiedene Altersstufen erkennen, von denen die älteste ins mittlere Tertiär fällt, während die Faltung der Rocky Mountains und des dazugehörigen Uintagebirges am Ende der Kreide und im Eocän erfolgte, also wieder früher.

Als weitere Beispiele und Belege können noch angeführt werden der Graben des Ebi-Nor südöstlich vom Balkaschsee, der geradlinig verlaufend in breiter Senke das bogenförmige Gebirge des dsungarischen Alatau nach SO durchbricht und drei größere Seen einschließt (Karte bei SUSS III, Anhang); das Gebirge reitet hier förmlich quer auf dem Graben. Und ebenso ist NAUMANN'S fossa magna in Japan deutlich senkrecht zum allgemeinen Streichen der japanischen Inselbögen orientiert.

Damit glaube ich meine Annahme zu einer hohen Wahrscheinlichkeit geführt zu haben, denn diese Erfahrungen bedeuten für mich gewissermaßen die Probe aufs Exempel.

III. Die Grabenbildung, besonders im Rheintal.

Mit der so gewonnenen Erkenntnis wenden wir uns wieder zurück nach Europa. Wir dürfen jetzt annehmen, daß die Erklärung von VAN WERVEKE im Prinzip die richtige ist, müssen aber noch verschiedene Fragen dabei zu lösen suchen: Wie entstanden diese Sprünge? Wie entstand die vielgenannte Raumvermehrung, die nötig war, um ein Absinken überhaupt zu ermöglichen? Welche Bewegungen gingen beim Absinken und dann im abgesunkenen Teil vor sich? Wie erklärt sich das Auftreten von Vulkanen? Endlich: ist der Zeit nach die Bildung der Quergräben mit jener der zugehörigen Faltengebirge vereinbar?

Entstehung und Art der Brüche: Die großen Randbrüche des Rheingrabens, größtenteils auch die Brüche in der abgesunkenen Mittelpartie, wie sie sich besonders schön aus dem Profil von WAGNER (zit. bei WILCKENS, Allg. Gebirgskunde, 1919, S. 115) und aus den Bohrungen im Kaligebiet ergeben, und auch die spärlicheren seitlichen Parallelbrüche außerhalb können wohl nicht anders gedeutet werden als wie als Horizontalverschiebungen, sogenannte Blätter, die aus der Gegend der Alpen und des Jura heraustretend, sich in gleicher Richtung mit dem alpinen Druck, weil einer gemeinsamen Ursache entstammend, von S nach N fortsetzen.

Einen ähnlichen Gedanken hat, soviel ich sehe, zuerst H. QUIRING für gewisse Spalten in Bergwerken ausgesprochen (diese Zeitschr., 1914, S. 449): „Auch durch einen Faltungsvorgang kann ein durch Horizontaldruck beanspruchtes Rindenstück in Schollen zerlegt werden, nämlich bei Ausbildung von Blättern; die Blätter durchsetzen das gefaltete Gebiet in der Druckrichtung; es ist nun ganz natürlich, daß bei einem späteren Zerrungsvorgang diese Störungen zu Sprüngen, insbesondere zu Zersprüngen, werden und dadurch den Verlauf der Gräben bestimmen.“

Hierzu wäre zunächst zu bemerken, daß der Faltungsvorgang bzw. der tangentielle Druck, der die Faltung hervorruft, und damit die gleichfalls durch ihn bedingten Blätter sich doch nicht auf das Faltungsgebiet allein beschränken müssen, sondern unter Umständen weit über das gefaltete Gebiet hinaus in das Vorland übergreifen können. Die „säkularen“ Bewegungen in solchen Vorgebieten sind doch vermutlich ebenfalls durch gleichorientierten tangentialen Druck, wenn er, wie schon 1866 SHALER betonte, in größeren Tiefen wirkte²⁾, hervorgerufen; zu einer räumlich beschränkten Undulation gesellt sich, wie STILLE (Tekt. Evolut., Leipzig 1913, S. 20) sagt, eine weiträumige Undulation, die selbst wieder weitgespannte flache Faltenwürfe, wohl meist parallel mit der Undulation, in sich bergen kann, etwa wie die von VAN WERWEKE erkannten flachen Gewölbe der Rheingebirge im Verhältnis zu den Alpen. Auch daß alle derartigen großen Grabengebiete, wie oben angedeutet, bei ihrer Orientierung senk-

²⁾ Nach SMOLUCHOWSKI ist die Breite einer Falte lediglich abhängig von der Mächtigkeit der Faltungsmasse (diese Zeitschr. 66, 1914, Mon.-Ber. S. 333).

recht zu Faltegebirgen auf Hochplateaus liegen, läßt sich wohl nur in diesem Sinn verstehen.

Früher waren die Blätter wenig beachtet worden. Erst nach derartigen Beobachtungen von **STUDER** im Säntisgebirge hat später **E. SUSS** (Antl. I, S. 153) auf die Wichtigkeit und Verbreitung der Blätter im Alpengebiet überhaupt hingewiesen. Er nennt besonders die Verschiebungslinie von Belluno in NNO, die Blätter vom Lahntal und von Raibl, bei welcher letzteren nach **POSEPNY** das Fallen wechselt, indem es bald nach O, bald nach W gerichtet ist; dann die goldführenden Blätter und Blattbündel des Rathausberges bei Gastein, welche Blätter gegen NO und NNO streichen und wohl auch maschenförmig auseinandertreten; ferner nennt **SUSS** besonders die Seitenklüfte des Königssees in Bayern, die (herzynischen) Horizontalverschiebungen am oberen Thuner See und im Molassegebiet zwischen diesem und dem Züricher See. Es gehören hierher aber auch der von **ROTHPLETZ** (Geol. Probl., Stuttgart 1894, S. 16) konstatierte zwischen zwei Blättern verlaufende Graben des Linthtales bei Glarus, und auch die Horizontalverschiebungen im Faltenjura, die trotz Abbiegens der Falten nach SW und S deutlich eine nördliche Tendenz erkennen lassen (Bild von **ALBERT HEIM** bei **WILCKENS**, Allg. Gebirgskunde, S. 50).

Überall findet sich an diesen Blättern bestätigt, was **SUSS** als deren charakteristische Merkmale hervorhebt (I, S. 154): Der Verlauf quer auf alle Falten, die Länge der Linie und die horizontale Streifung der Rutschflächen. Dazu ist ihr Streichen der Ablenkung nicht unterworfen wie jenes der Wechsel und gibt „daher wohl ein richtigeres Bild von den allgemeinen Bewegungen der Massen“. Als wahrscheinlich nicht unwichtig möchte ich noch für die Blätter bezeichnen das Wechseln des Einfallens, das, wie erwähnt, zuerst **POSEPNY** bei Raibl nachgewiesen hat (Abhandl. Geol. Reichs-Anst., 1873, S. 325).

Von diesen alpinen Blattverschiebungen werden wir für unseren Zweck zunächst nur die ganz oder wenigstens ziemlich meridional oder NNO gerichteten Blätter für eine Parallele mit den rheinischen Brüchen heranziehen dürfen. Allein selbst dann wird man, da jene alpinen Blätter nur aus den Schollen und Decken der Überschiebungszone näher bekannt sind, fragen müssen, ob denn, wie das zu verlangen ist, wenn der genetische Zusammenhang wahrscheinlich sein soll, auch das autochthone Grundgebirge, die kristalline Unterlage jener alpinen Schubdecken, derartige meridio-

nale Blätter erkennen läßt. Wegen der Überdeckung können wir nicht erwarten, dieselben, sofern sie nicht durch Wiederaufleben in ganz jungen Zeiten ihre Bedeckung durchschlagen haben, direkt beobachten zu können; wir müssen sie erschließen.

Zwar haben STEINMANN (Ber. naturforsch. Gesellsch. Freiburg, 1892, S. 150) und später C. SCHMIDT (Eklog. IX, 4, S. 581) geglaubt, die Grenzbrüche des Rheintales auch oberflächlich wenigstens in Andeutungen in das Juragebirge bzw. sogar quer durch die ganze Alpenkette bis Ivrea verfolgen zu können, wobei östlich das Aaremassiv und der Monte Rosa, westlich Mont-Blanc und Gran Paradiso die Grenzen markieren sollten. A. HEIM dagegen (Geologie der Schweiz, Leipzig 1918, S. 556) und neuerdings GRAHMANN (N. Jahrb., Beil.-Bd. 44, S. 96: „Der Rheingraben setzt sich nicht durch den Jura hindurch fort, sondern weicht nach SW aus und verläuft sich in dem Bruchgebiet des französischen Jura“) halten jene Ansichten für abgetan. Dabei läßt A. HEIM aber doch (S. 619) für die NS-Blattverschiebung im Kettenjura bei Les Rangiers die Möglichkeit zu, daß sie durch den unterliegenden auslaufenden Rand des Rheintalgrabens und ältere Verwerfungsbrüche beeinflußt sei. Aber ich glaube, die nicht sichtbaren, aber erschließbaren, Spuren jener meridionalen Brüche, von denen ja die Rheinbrüche nur ein Teil sein können, lassen sich im Gebiet des Kettenjura und noch weiter nach S bis in die Westalpen hinein verfolgen.

Zunächst: A. HEIM schildert (a. a. O., S. 549 und 613) die Querbrüche des Kettenjura, die nach ihm echte Transversalverschiebungen oder Blätter sind, mit horizontalen Rutschstreifen. Im Verlauf des Gebirges vom Genfer See her ändert sich nun allmählich das Streichen der Blätter von NW über N bis NNO bei Les Rangiers und Gänssbrunnen, wo sich also dann ganz gleiches Streichen mit den Rheintalbrüchen ergibt. Darüber hinaus gegen NO geht das Streichen nicht mehr: hier ist gewissermaßen der Ruhepunkt erreicht. Die Faltenbildung im Kettenjura geht nun von einem im SO davon gelegenen Zentrum aus. Die in den großen Blättern ersichtlichen Radian des Gebirges würden aber ein Zentrum bedeutend weiter südwestlich ergeben; das Zentrum für Faltung und das Zentrum für Bruchbildung fallen also nicht zusammen, und demnach stehen die Blätter nicht senkrecht zur Faltung, wie zu erwarten stand, sondern

schief, und der Winkel wird gegen den Rhein zu immer spitziger. Nun ist ferner an den Transversalverschiebungen fast ausschließlich die O-Lippe gegen N vorgeschoben, was nach HEIM (S. 622) eine longitudinale Streckung bedeutet: „Das nördliche Ausbiegen der Jurakette während der Faltung mußte die Longitudinalstreckung erzeugen; sie hat sich mittels Querbrüchen deshalb vollziehen können, weil diese Brüche nicht senkrecht, sondern schief durch die Ketten gehen; wir erkennen damit die Transversalbrüche im Jura als das Resultat der durch die Ausbiegung entstandenen longitudinalen Streckung, und so ist nun auch ihre harmonische Anordnung verständlich.“

Aber, soviel ich sehe, befaßt sich HEIM nicht weiter mit der Frage, die sich doch unbedingt einstellen muß: Woher kommt denn jene Ausbiegung, die doch nach W und NW gerichtet ist, und dadurch eine longitudinale Streckung hervorrufen mußte? Da die Entfernung der abgescherten Juragebirgsmasse von den Alpen gegen den Rhein immer mehr zunimmt, kann nur eine gleichzeitig irgendwie in der tragenden Unterlage wirkende Kraft in SN-Richtung angenommen werden, und zwar muß diese gegen O zu immer stärker sich geltend gemacht haben. Die Ungleichheit der Bewegung des Untergrundes, sich nach O verstärkend, wird vermutlich zu horizontalen Zerr-Rissen in NS-Richtung geführt haben, und so verstehen wir nun auch das anormale Schiefstehen der Blätter zu den Falten im Kettenjura; die entstehenden Blätter bildeten jeweils ein Kompromiß, eine Diagonale im Kräfteparallelogramm, dessen eine Seite der ursprüngliche ungestörte Radius der Jurafaltung, dessen andere die Bewegungsrichtung der meridionalen (Rheintal-) Spalten des Untergrundes bildete, über welche die Jurablätter in ihrem Streichen demzufolge nicht nach NO hinausgehen können. HEIM selbst hat schon 1915 (Verh. schweiz. naturforsch. Gesellsch., 1915, S. 27) darauf hingewiesen, daß abgescherte Sedimentärmassen sich bei der Faltung anders bewegt haben als die tieferen Teile der Erdkrinde; und der Sinn der Bewegung des Untergrundes läßt sich, wie ich glaube, aus der Ablenkung der Querblätter des Jura erschließen, ebenso, wie auch die Ungleichmäßigkeit dieser nach O sich stufenweise steigernden Bewegung, welche vermutlich meridionale, dem Rheintal parallele und in seiner Fortsetzung liegende Horizontalverschiebungen verursachte; die stufenweise Verschiebung der O-Lippe der Jurablätter

gegen N im Vergleich zum normalen Faltenbogen gibt, wie ich meine, dafür genügend Anhalt.

Auch in den Westalpen ergeben sich nach E. ARGAND (Eklog. Helv. XIV, 1916) sichere Anzeichen für meridional gerichtete bandförmige Zonen innerhalb des allgemeinen NW-Schubes der dortigen Decken: so am Knie von Lanzo, an der Biegung („festonnement“) der Wurzeln zwischen Stura di Valle grande und Dora Riparia und in dem Bündel der fast transversal O—W laufenden, gegen N konvexen Falten zwischen Dora Riparia und Unterlauf des Chiesone. ARGAND ist schon genötigt, für diese ausgesprochen meridionalen Streifen eine Bewegung (Verengung) der Untergrundbasis, nämlich des „herzynischen Halbkreises“, zwischen Mercantour und Aaremassiv anzunehmen. Nach W zu machen sich aber gleichfalls Teilspuren in Form von Störungen der normalen, nach NW gerichteten Deckenströmung bemerkbar; so in der etwa 12—15 km betragenden Verschiebung des Massivs von Ambin nach N, so in der Schmalheit der nach NW- und NNW-Richtung gestreckten kottischen Alpen, die gleichfalls auf, wenn auch relativ geringere, meridionale Bewegungen der tragenden Unterlage schließen lassen. Also auch innerhalb des Bogens der Westalpen zunächst im W Kompromißbewegungen, gegen O immer siegreicheres Überwiegen der Meridionalrichtung, deren Auswirkung sich nur auf Grund einer entsprechenden tragenden Unterlage betätigen konnte und deswegen in dieser bei der nach O sich mehrenden Ungleichheit wohl gleichfalls meridionale Horizontalverschiebungen verursacht haben dürfte, die fast direkt in der Verlängerung des Rheingrabens liegen, andernteils den im W gelegenen Brüchen des Rhonegrabens parallel gehen. — Wenn also auch der Rheintalgraben als solcher sich nicht in Jura und Alpen verfolgen läßt, so sind doch wohl genügend Anzeichen vorhanden, die Fortsetzung der Brüche ohne Grabenbildung nach S anzunehmen.

Also der geographisch enge Zusammenhang, das gleiche Streichen und wohl auch im allgemeinen das gleiche steile Einfallen, das im Schwarzwald und bei Heidelberg konstatierte Vorwiegen horizontaler Rutschstreifen dürften genügend Momente sein, die Rheintalspalten mit Blättern weniger innerhalb als im Untergrund des Jura und der Alpen in genetischen Zusammenhang zu bringen.

Damit würden die Blätter, die man bisher eigentlich nur aus den Faltengebirgen selbst kannte, hinausgreifen weit

in das Vorland, wo sie, oft, aber durchaus nicht immer, Grabenbildung veranlassend, in ihrem Verlauf sich verlieren, teilen oder auch seitwärts in paralleler Richtung neu auftreten können. Graben und Faltengebirge sind also zwei zusammenhängende Erscheinungen, verursacht zunächst von einer einheitlichen tangentialen Kompression, welche ausgedehnte epirogenetische Hebungen im Sinn von GILBERT und proximal vor diesen am Rande der bewegten Schollen vielfach schmale, quer orientierte Faltengebirge verursachte. Um so ausgedehnte Wirkungen zu erzeugen, mußte das Niveau des tangentialen Drucks ziemlich tief liegen, und damit stimmt es überein, daß wenigstens die größeren derartigen Grabengebiete stets mehr oder minder reichlich Magmareservoirs der Tiefe angeschnitten haben.

Sind aber wirklich Blattverschiebungen wenigstens primär die Ursache der Grabenbildungen, dann ist zunächst eine Streitfrage als unwichtig erkannt, nämlich die Frage nach der Stellung der Randspalten. Denn bei Blattverwerfungen ist das Fallen nur im allgemeinen saiger, es kann bei derselben Spalte zweifellos in ihrem Längsverlauf wechseln, nicht nur um einen geringen Betrag in der gleichen Richtung, sondern direkt um die Schwerlinie herum in die entgegengesetzte Fallrichtung umschlagen³⁾; daher können auch zwei benachbarte Randspalten nach unten divergieren, ja, man kann höchstwahrscheinlich sogar sagen, in einem schildförmig gehobenen Festlandgebiete (Undationsrücken) auftretende und unter sich ungefähr parallele, weil von einem randlich herangewälzten Faltengebirge scheinbar ausgehende Blattverschiebungen führen nur insofern und in solcher Ausdehnung zur Grabenbildung, als ihr Einfallen — und die weiterhin zu besprechende notwendige Raumerweiterung — ein Versinken der dazwischen liegenden schmalen Spangen ermöglicht. Dabei kann es vorkommen, daß selbst nach unten divergierendes Einfallen der Randspalten ein Einsinken wenigstens bis zu einem gewissen

³⁾ H. v. HÖFER (Verwerfungen 1917) zitiert S. 52 allerdings den Sevierbruch in Utah (in der Musinia-Grabenzone) als Drehverwurf; der Sprung gehe in einen Wechsel über. Ich meine, in bezug auf die Art und Ursache dieser differenzierten Bewegungen ist meine Deutung als Blattverschiebung viel verständlicher.

Grade nicht ausschließt, wenn entsprechende Raumvermehrung in seitlicher Richtung hinzutritt.

Es ist darauf hinzuweisen, daß in einem Blattverschiebungsgebiet, wie ein solches nach meiner Ansicht in ausgeprägtem Maß auch der indo-afrikanische Kontinent darstellt — im Süden sind es die Zwartberge und ihr im Osten versunkener Anhang, der nach N, im N sind es Himalaja, iranische Ketten, Tauriden, welche nach S gerichtetes Drängen anzeigen —, nicht alle Blätter Anlaß zu Grabenvertiefungen geben. Vielfach sind außerdem derartige Blattverschiebungen sekundär zu Sprüngen oder Übersprüngen geworden, indem sich radiale Bewegung der rein tangentialen zugesellte; bei anderen hat sich, wie H. QUIRING das ausführt (diese Zeitschr., 1914, S. 440), zu der eigentlich primären Zerrung, welche er verlangt, bei vorhandener seitlicher Entspannung noch ein Böschungssprung gesellt, der in der Tat schmalere Gräben hervorzubringen vermag; aber bei der relativ großen Breite der genannten Gräben muß wohl angenommen werden, daß ganze Büschel von Blattverschiebungen, von parallelem Streichen, wenn auch nicht von ganz gleich orientiertem Einfallen, in Zonen gesteigerter epirogenetischer Aufwölbung infolge tangentialen Drucks geraten mußten, um in derartige große, parallele Grabensenkungen überzugehen.

Das Vorkommen vertikaler Harnischstreifen, wie es SALOMONS Schüler nachgewiesen haben, deutet natürlich auf glattes Absinken, d. h. auf zentripetale Bewegungen; ebenso möchte man das verschiedentlich, z. B. auch von BLANCKENHORN für den Jordangraben, betonte Auftreten von Flexuren zunächst für Anzeichen reiner Absenkung halten. Allein Flexuren können zweifellos auch durch vorwiegende Horizontalverschiebung hergestellt werden (QUIRING, a. a. O., 1914, S. 420, Fußnote, und HÖFER, Verwerfungen, S. 43) und das kalifornische Erdbeben von 1906 hat wohl einen schlagenden Beweis dafür geliefert. Im übrigen sind die rein vertikalen Bewegungen an Zahl, wie es scheint, zurücktretend und jedenfalls nur sekundärer Herkunft.

Dieser Druck im Rheingebiet von S her, der sich neben der Blattbildung in einer schwachen doppelten Aufwölbung der Rheingebirge, daneben auch in Kluffbildungen in Ostwestrichtung äußerte, mußte wohl auch dem entgegenstehenden Hindernis, dem rheinischen Schiefergebirge seinen Stempel aufdrücken. Die trennende, nach NO streichende Bruchlinie am Südabhang des Taunus bestand

wohl schon seit vorkarbonischer Zeit. Es machten sich aber Bewegungen an dieser Bruchlinie geltend, heute kenntlich an Auswülfungen, die zur Bildung einer kristallinen Zone aus devonischen Sedimenten und Eruptivgesteinen führten: das ist die von LOSSÉN studierte Zone der dortigen Serizit- und Chloritschiefer, die sich wahrscheinlich in Form von Quarz-Albit-Schiefern mit Unterbrechungen bis an den Südrand des Harzes und an den Nordrand des Kyffhäusers verfolgen läßt. Andererseits hat der Druck aus S die Überschiebungen am Südrand des rheinischen Schiefergebirges wohl wesentlich verursacht. Nach NO hin greifen die Überschiebungen auf immer jüngere Ablagerungen hinüber (GERTH, Geol. Rundsch., I, S. 83) und der Grad der Umwandlung nimmt nach MILCH von W nach O zu. Es sei hier auch daran erinnert, daß die tektonischen Bewegungen innerhalb des Rheintalgrabens bis in die jüngere Diluvialzeit angedauert haben (Literatur bei A. HEIM, Geol. d. Schweiz, 1918, S. 556), und daß andererseits an den Kieseloolithterrassen eine pliocäne Hebung des rheinischen Schiefergebirges zu erkennen ist.

Die Bildungszeiten. Wenn die Erdkruste durchgehend homogen gebaut wäre, so würde sich der tangentielle Gewölbedruck stets gleichmäßig durch ihre ganze Decke auswirken können, so wie das die bekannte schematische Zeichnung in den Lehrbüchern demonstriert.

Aber auf die zunächst nur durch ihr eigenes Gewicht etwas verfestigte Hülle der Sedimente folgen nach unten die bereits viel widerstandsfähigeren Lagen der kristallinen Schiefer mit ihren noch rigideren Kernen von eingelagerten Tiefengesteinen; letztere nehmen nach unten immer mehr zu, sind aber andernteils wieder infolge magmatischer Differenzierung und verschiedener Tiefenlage in ihrer Druckfestigkeit und Widerstandskraft voneinander verschieden. Also auch in diesem Niveau ist in horizontaler Richtung noch keine Einheitlichkeit anzunehmen. Im allgemeinen muß also nach der Tiefe die Widerstandsfähigkeit gegen tangentielle Beanspruchung zunehmen. Daher würde längs einer Schwächezone, die etwa äquatorial gerichtet ist, der Gewölbedruck vielleicht zuerst an der Sedimenthülle sich in Form von Auffaltung äußern, erst später wird der größere Widerstand der kristallinen Massen in der Tiefe überwunden werden.

Wenn die hier vorgetragene Ansicht richtig ist, haben wir im Juragebirge und den Alpen genau zu unterscheiden

zwischen der Faltung der Abscherungs- bzw. Überschiebungsdecken und den weiträumigen und flachen epirogenetischen Faltenbewegungen mit begleitenden Horizontalverschiebungen im kristallinen Untergrund. Und zwar würde nach den vorhergehenden Darlegungen die Bewegung des widerstandsfähigeren Untergrundes trotz gleicher Ursache erst später zur Geltung gekommen sein.

Bei den großen Quergrabengebieten scheint dieser Fall, soweit unsere unvollständigen Kenntnisse bisher reichen, im allgemeinen zuzutreffen: meist ist erst das Faltengebirge entstanden und erst später die Bildung darauf senkrechter Brüche und Gräben erfolgt. So war das Untagebirge im Eocän fertig, die Gräben des Coloradoplateaus setzen erst im mittleren Tertiär ein. In Syrien erfolgte die Faltung des Taurus postaquitänisch, die Bruchbildung im Tertiär bis ins Diluvium. In Südafrika waren die Zwartberge gleichfalls viel eher da (Perm oder Trias), als die großen Gräben (Tertiär bis Diluvium). Aber bei den Alpen scheint sich eine Ausnahme zu ergeben. Die Bildung des Rheingrabens beginnt im Oligocän, die Alpenstauchung im großen erst am Ende des Miocäns.

Aber zunächst ist hier zu sagen, daß man sich gar nicht einig ist, ob die Alpenaufrichtung im ganzen relativ kurz umrissen und daher genauer datierbar, oder ein durch lange geologische Zeiten sich hinziehender Vorgang ist, der nur einige Exacerbationen aufwies. So schreibt WILCKENS (1913, Handw. Bch. Nat.-Wiss. IV, S. 634), es beruhe auf einer Verkennung der tatsächlichen Lagerungsverhältnisse, wenn man für die Alpen und Karpathen eine allmähliche Entstehung durch lange geologische Perioden hindurch annähme. Dagegen steht HENNIG (1920, Naturwiss. Wochenschr., S. 337) auf dem Standpunkt, daß die tertiäre Alpenfaltung sich fast unmittelbar aus der karbonischen ableiten läßt, indem Erdbewegungen faltender Art in der ganzen Zwischenzeit bemerkbar werden. „Der Höhepunkt fällt nunmehr ins Oligocän“.

Hinwiederum finden sich Andeutungen eines höheren als tertiären Alters, zwar nicht für den Rheingraben, aber für gewisse ihm parallele Brüche. So weist DEECKE (diese Zeitschr., 1917, Mon.-Ber. S. 203) darauf hin, daß die Rheintalspalten im Nordschwarzwald schon im Karbon angedeutet und ausgebildet waren in den NS streichenden Granitporphyrgängen des Kinzig- und Murgtals. Faßt man aber die meridional streichenden Brüche in weiterer Aus-

dehnung noch diesbezüglich ins Auge, so sei erwähnt, daß FLIEGEL (diese Zeitschr., 1914, Mon.-Ber. S. 277) den Brüchen des meridionalen Eifelgrabens Bittburg—Düren eine karbonische Entstehungszeit zugeschrieben hat, und daß die gleichfalls meridional streichenden Pinitporphyrgänge bei Regenstauf im Böhmischem Massiv höchstwahrscheinlich auch im späteren Paläozoikum gebildet worden sind.

Auch aus Afrika werden neuerlich Tatsachen bekannt, welche auf teilweise früheres Alter der Brüche hinweisen: E. GROSSE liefert (N. Jahrb., Beil.-Bd. 42, 1918) Beschreibung und Karte von Nordostkatanga, denen zufolge man westlich vom Taganjikasee nicht nur postpermotriassische Brüche bereits kennt, sondern auch präpermokarbonische.

Ferner ist aber die Möglichkeit meiner Ansicht nach sehr gut denkbar, daß innerhalb der so unregelmäßig gebauten starren Erdkruste der tangentiale Gewölbedruck zuerst in den tiefen Niveaus der Anhäufung verschiedenartiger Massengesteine einsetzt; er kann dann wegen der größeren Widerstandsfähigkeit mehr oder minder dort absorbiert werden; es werden sich dann an der Oberfläche primär große weite säkulare Hebungen mit dazwischenliegenden Senkungen herausbilden, gleichzeitig oder vielleicht sogar erst später kann sich ein queres Faltengebirge dazu gesellen, ja, gegebenenfalls könnte die Bildung eines oberflächlichen Faltengebirges ganz unterbleiben und die Brüche allein, soweit sie eben als Horizontalverschiebungen oder Blätter diagnostiziert werden könnten, gäben dann einen Anhaltspunkt für die Richtung der wirkenden Kraft⁴⁾.

Ist somit, wie vorher ausgeführt, schon im bestbekanntesten Graben- und Bruchgebiet von Europa eine sichere Da-

⁴⁾ Ich weiß, daß ich mit diesen Ansichten in einem gewissen Gegensatz trete weniger zu HAUG, der die orogenetischen Bewegungen begleitet werden läßt von gleichzeitigen epirogenetischen, die im allgemeinen senkrecht zu ihnen stehen, doch mit umgekehrten Vorzeichen (Traité de géol. 507), als zu STILLE, (diese Zeitschr. 1919), für welchen die epirogenetischen Bewegungen wesentlich säkular, die orogenetischen wesentlich episodisch sind, so daß die Zeitlichkeit oder die Zeitdauer der Vorgänge ein integrierender Teil der Definition ist. Ich habe den Eindruck, daß die sonst so interessanten Ausführungen STILLES zu sehr beengt werden von dem Bestreben, möglichst scharf umrissene Definitionen zu geben, was ich hier für nicht ganz ausführbar halte und was er auch selbst fühlt. Speziell meine ich, daß die zeitlichen Verhältnisse nur eine Folge der verschiedenen Tiefenlage sind, in denen der tangentialer Druck zuerst einsetzte.

tierung der genetischen Beziehungen zu dem transversalen Faltengebirge noch nicht möglich, so wird nach obigem die Reihenfolge sich überhaupt wahrscheinlich niemals in ein Gesetz fassen lassen, und der Zusammenhang, auf den ich aus mehr morphologischen Gründen schließe, wird sich geologisch zunächst, wenigstens auf diese Art, weder fester beweisen, noch weniger aber widerlegen lassen. —

Daß innerhalb der langen Zeiträume aber die allgemeine Druckrichtung gewechselt haben könnte, ist bei der bekannten langen Persistenz der verursachenden Geosynklinalen nicht anzunehmen.

Die Raumvergrößerung. Der Vorgang der bisher zur Bildung als notwendig angenommenen „Zerrung“ ist hier bisher noch nicht genügend erklärt. QUIRING hat (a. a. O., S. 445) berechnet, daß das ermittelte Maß der Zerrung, erhalten in der linearen Ausdehnung der Oberflächen von Aufwölbungen verschiedenster Reichweite, nicht den leicht zu bestimmenden Betrag der tatsächlich vorhandenen linearen Auseinanderreißung der Schollen erreicht.

Ich meine nun, infolge der örtlichen Kombination der oro- mit der epirogenetischen Bewegung läßt sich der Vorgang anders deuten und darstellen. Am Rheine hat dieser in das Vorland hinauswirkende Druck, abgesehen von der Senkung der schweizerischen Molasse und der Faltung des Juragebirges, zunächst nur auf die Rheingebirge derart faltend gewirkt, also nur auf eine verhältnismäßig enge Stelle des ganzen Vorlandes, die ungefähr der Ablenkung des Alpenbogens gegen Südwest entspricht⁵⁾. Denkt man sich nun eine

⁵⁾ Gerade daß die Alpen und der Jura am Südende des Rheingrabens aus der gewöhnlichen äquatorialen Richtung bogenförmig nach S abschwanken, hat meiner Ansicht nach eine einfachere Deutung der Zusammenhänge wesentlich mit erschwert und verzögert. Diese Abschwenkung selbst ist wieder veranlaßt durch die Brüche des heutigen Rhonegrabens, aber auch durch Bruch- und Schollenbildung aus ursprünglich karbonischen, ja eigentlich noch früheren europäischen tektonischen Bewegungen. Näheres darüber später.

Und wie bei den Alpen gerade am Bande des Rhonegrabens die Umschwenkung nach SW und S sich einstellt, so tritt dieses Phänomen in doppelter Ausprägung, zu beiden Seiten der fossa magna, in Japan auf: gegen diesen großen Graben schwenken die Bögen von Nord- und Südjapan beide zurück (Suess, Antl. I, S. 221). Das dürfte doch kaum auf einfaches Niederbrechen im Gebiete der Schaarung zurückzuführen sein, sondern es erscheint im Zusammenhalt mit den anderen hier gegebenen Hinweisen für die Bildung solcher Quergräben viel wahrscheinlicher, daß hier längs der spangenförmigen Grabenzone die Be-

runde Platte von allen Seiten infolge des ausgeglichenen tangentialen Gewölbedruckes gleichmäßig gepreßt, außerdem aber noch von einem bestimmten neu orientierten Überdrucke aus der Südrichtung getroffen und gegen ein Widerlager im N wie das rheinische Schiefergebirge gedrückt, so wird, so lange diese Platte in der Ebene der Gesamtoberfläche verbleibt, dieser Süd Norddruck sich zugleich in einen Ostwestdruck von gleicher Stärke verwandeln. Anders wenn das gepreßte runde Stück sich in der Mitte emporwölbt und dadurch der allgemeinen tangentialen Druckspannung der Erdoberfläche heraustreten kann. Jetzt bildet sich eine Ostwest streichende weite Falte, der Überdruck in Süd Nordrichtung bleibt oder nimmt vielleicht noch zu, aber in der Ostwestrichtung kann, weil in dieser Richtung bei der Ostwest streichenden Faltung ja gleichfalls eine Herauswölbung eintreten muß, jetzt der allgemeine tangential Druck vollständig wegfallen und es wirkt nur mehr ganz ungestört der einseitige Süd Norddruck. Wenn nun die Wölbungshöhe der Falten groß genug wäre, könnte sogar in der Ostwestrichtung eine Art Abfließen der Massen nach dem Gesetze der Schwere erfolgen, also das, was man vom Rande gegen die Mitte zu als Zerrung auffassen müßte, und was dann wirklich auf der Höhe der Aufwölbung ein Aufreißen von einer großen Spalte in Nordsüdrichtung zur Folge haben müßte. Das wäre ja wohl ungefähr die Idee von O. REIS, also ein Vorgang wie bei der Bildung hoher Falten überhaupt, die deswegen auch rechts und links über das vom Drucke nicht mehr recht berührte seitliche Gebiet hinausquellen und bei Vorschreiten der Faltung die seitlichen Flügelendigungen als Bögen hinter sich lassen müssen. (Aire de surélévation nach HAUG.)

Die Höhe der Emporwölbung müßte aber nach den Berechnungen QUIRINGS eine ganz unwahrscheinlich bedeutende sein, damit ein Abfließen und dadurch eine eigentliche Zerrung ermöglicht würde. Folglich darf von einer Zerrung wohl überhaupt nicht gesprochen werden, es handelt sich

wegung zurückgeblieben ist (vielleicht wegen des entgegenstehenden Hindernisses der Schichtakette, wie NAUMANN glaubt), daher Zerreißen und blattförmige Horizontalverschiebungen sich ausbilden mußten. An diesen setzte also zuerst Horizontalbewegung und später erst allmähliches Absinken ein. Dabei ist es ziemlich gleichgiltig, ob das bezeichnende scharfe Rückschwenken der Ketten, besonders im Bereiche der kristallinen Schiefer, wirklich einer Änderung im Streichen der Schichten entspricht, oder auf Senkung der Faltenachsen zu beziehen ist.

gar nicht um eine Zugspannung, sondern um eine Druckspannung, die der nachdrückende den Überdruck zum Teil vermittelnde Gebirgstheil versinnbildlicht, so daß die flach emporgewölbten Schwellen des Vorlandes, wenn sie durch parallele Blattbündel geteilt sind, in großer Breite auseinandergetrieben werden, dahin, wohin ein geringerer, nämlich der Überdruck allein herrscht, das ist in unserem Falle die Ostwestrichtung.

Und dieser Druck zwischen Alpen im S und rheinischem Schiefergebirge im N dürfte genügt haben, um in Verbindung mit der Zahl der parallelen Blätter, die natürlich meridional wegen des Nachlassens des Druckes in Ostwestrichtung besonders leicht sich oberflächlich noch neu bilden konnten, das relativ weite Klaffen der Bruchränder zu erklären, und er verdeutlicht auch wohl genügend die Existenz jener transversal zum Rheingraben in den Rheingebirgen liegenden Spalten mit ebenfalls hauptsächlich horizontal orientierten Rutschstreifen; Ungleichheiten der lokalen Druckspannungen in Ostwestrichtung werden letztere verursacht haben.

Es ist auf diese Art von Erklärung der „Zerrung“, nämlich als Druckspannung, entstanden durch einseitigen tangentialen Überdruck, vielleicht einiges Gewicht zu legen, angesichts des Hinweises von A. v. D. BORNE (Gerland. Beitr. z. Geophys., IX, 1908, S. 378), daß ein Widerspruch darin bestehe, eine allgemeine Kontraktion der Erde anzunehmen, und doch, wie Vulkane und Erzgänge beweisen, andererseits an offene Spalten zu denken. Nach der dargelegten Auffassung sind eben diese offenen Spalten auch nur Druckerscheinungen (welche weiter unten noch näher erklärt werden sollen), und damit glaube ich auch das Vorkommen weit ausgedehnter „Zerrungen“ übersichtlicher erklären zu können, als J. WALTHER die kleinen toten Winkel.

Bewegungen in den Gräben. Soweit Bewegungen am Rande der Gräben in Betracht kommen, sind sie bereits angedeutet worden. Im Gebiete geradlinig streichender Blätterbündel, die also ursprünglich durch Horizontalschub entstanden, tritt durch Auseinanderpressen der Seitenpfeiler zugleich mit der Vorwärtsbewegung langsames Absinken ein; dieses schiefe Absinken ist zum Teil begleitet und gefolgt von Vertikalbewegungen, also von Abgleiten auf echten Verwerfungen, und von Senkungsflexuren. Trifft die oft nachträgliche epirogenetische Wölbung nicht zufällig ziemlich zentral mit dem Blattbündel zusammen, so wird sich der Graben am Abhange bilden, und es werden vielleicht

Profile entstehen, wo ein Seitenpfiler wenigstens in ausgeprägter Form zu fehlen scheint, wie z. B. in Palästina.

Aber wie ordnen sich nun die absinkenden Partien innerhalb des Grabens selbst an?

O. REIS (a. a. O., S. 270) macht gelegentlich der Besprechung des Saône-Grabens den wichtigen Einwand, es könne sich dabei nicht um tangentielle Bewegungen von S her parallel der Schollenachse handeln, weil sonst im N Überschiebungen und Erhebung jüngerer Schichten in höhere Geländelagen erzeugt worden wären; statt dessen finde sich querer Abbruch höherer Schichtglieder auf transversaler Verwerfung.

Nun, am rheinischen Schiefergebirge sind ja in der Tat derartige Überschiebungen vorhanden, wenn sie auch infolge einer großen wohl präexistierenden Bruchspalte kaum vom Grabengebiet selbst in das Schiefergebirge hinübergreifen, sondern vielleicht mehr in Form von Unterschiebungen schräg zur Tiefe setzen. Aber diese Überschiebungen sind wohl, wenigstens später, nur von den Flügelteilen des Grabens, nicht vom abgesunkenen Areal mit ausgegangen. Der anfangs vermutlich zunächst gleichfalls von der epirogenetischen Aufwölbung erfaßte zentrale Grabenstreifen mußte ja natürlich, da er wegen der ostwestlichen Raumerweiterung allmählich absinken konnte, dabei wieder seine Wölbung verlieren, ebener werden, und damit die früher vor der Auffaltung innegehabte Länge wieder anzunehmen suchen, die aber infolge der allgemeinen Nord-südfaltung verringert worden war; er hätte also in Form von Überschiebungen gegen N vorstoßen müssen, und das wäre auch sicherlich geschehen, wenn nicht infolge der in O—W einsetzenden sekundären Druckspannung und Auseinanderpressung genügend Raum gewonnen worden wäre nicht nur zum schiefen oder senkrechten Abgleiten, sondern auch zum Ausgleich der Längendifferenz in Nordsüdrichtung innerhalb des Senkungsfeldes selbst. Die von N und S her infolge Absinkens komprimierten Spangen bogen sich wohl zunächst seitwärts, so daß Anfänge einer Faltung mit vertikaler Achse sich einstellten, rissen dann genau entsprechend dem Experiment von DAUBRÉE (Exp. Geol., S. 246) unter etwa 45° durch; die Diagonalbrüche in DUTTONS Modell der Musiniazone und wahrscheinlich die Flexur von Sierenz nördlich von Basel repräsentieren wohl noch oberflächlich diese Stadien. Meistens blieb es aber nicht dabei, weil der Platz schon infolge der Eigenschwere der sinkenden

Schollen zu eng wurde: es traten dann zweierlei interessante Folgeerscheinungen auf. Einesteils bildeten sich infolge der horizontalen Verschiebungen auf Diagonal- oder auch vorher schon angelegten Rissen in variskischer und herzynischer Richtung (vgl. später) und auf eigentlichen Blattverwerfungen tote Winkel und Ecken, welche trotz der allgemeinen Kompression den vulkanischen Magmen das Aufdringen gestatteten, weil sie nach unten gewissermaßen ein Netzwerk kommunizierender Röhren darstellten⁶⁾. Es ist derartige Bildung von toten Winkeln infolge wesentlich seitlicher Bewegungen der sinkenden Schollenränder eine weitere Erklärung dafür, daß trotz starker Kontraktion offene Klüfte vorhanden sein können, was eigentlich selbstverständlich ist, wenn der Stoff nicht plastisch genug ist. Und Risse in der Erdkruste können nach den Versuchen von FR. ADAMS (Journ. of Geol., 1912, 20. B., S. 97) noch bis in Tiefen von 20 km klaffen.

Andererseits aber traten im Graben selbst Überschiebungen auf in der Richtung der Längsachse. Nur so ist wohl die relativ hohe Lage der Juraschollen bei Freiburg zu erklären, und nur so allein verstehen wir den Bau des Ruwenzorigebirges in Afrika, von dem SUSS (Antl. III, 2, S. 307) schreibt: „Er ist der höchste der nicht vulkanischen Berge Afrikas; STUHMANN zeigte 1891, daß er ein Stück des älteren Gebirges sei zwischen zwei Dislokationen. Der Ruwenzori ist ein 80 km langer Horst, der innerhalb des Grabens den Ostrand begleitet. Die höchsten Teile dürften aus granitischem Gneis bestehen (aus Dioriten, Diabasen und Amphiboliten nach KRENKEL, Geol. Rundsch. I, S. 205, Verf.); auffallend ist die Tatsache, daß der Horst um wohl 2000 m höher ist als das benachbarte Hochland, dessen

⁶⁾ Die meist kurzen quer zur Längsrichtung des Gebirges stehenden Spalten scheinen auch nach FRECH (Allg. Geol. III, 94) weiter in die Tiefe zu reichen, und somit die dort vorhandenen Kohlensäurequellen (daher wohl auch Magmaherde? Verf.) besser aufzuschließen, als die großen Längsbrüche. Auch SUSS weist (N. Jahrb. 1907, I, S. 271) darauf hin, daß femische Gesteine, also Gesteinstypen der größeren Tiefe, sich niemals in den kristallinen Achsen der Gebirge finden, sondern außen in den Überschiebungsdecken und auf Klüften schief oder senkrecht zum Generalstreichen, z. B. in der schmalen Zone von Ivrea. Auch in den eocänen Flyschmassen des Appennin sind sie häufig. Sollte das nicht darauf hindeuten, auch die Richtung des Appennin durch alte Blattverschiebungen bedingt anzusehen? Eine spätere Ausführung wird diesen Gedanken unterstützen.

Teil er doch ist.“ Dieser Bergrücken kann nun nach meiner Auffassung doch wirklich nicht mehr gut als „Horst“ im Sinne von STÜSS angesehen werden, denn dann wäre doch fast ein ganzer Kontinent gegenüber dieser Scholle abgesunken. Auch an eine vulkanische Hebung, etwa wie bei einem Lakkolithen, kann infolge der großen Dimensionen dieser Scholle schwerlich gedacht werden. Es bleibt nur übrig, und ist auch leicht einzusehen, daß er bei dem Absinken infolge Verkürzung der Grabenspanne auf einer Überschiebungsfläche in Südnordrichtung oder umgekehrt über andere Grabenschollen heraufgestiegen ist. Genauere geologische Untersuchungen stehen ja noch aus.

Auch die Seitenpfeiler der Gräben haben sich vielleicht longitudinal gegeneinander etwas verschoben. CHELIUS glaubte vielleicht im Odenwalde eine relative Verschiebung gegen N gefunden zu haben⁷⁾. Sollte sich das bestätigen, so wäre sie ja durch die Richtung der Taunusspalte gewissermaßen vorgezeichnet gewesen, und wir verstünden dann auch, warum die Pressung im südlichen Taunus an dieser Seite heftiger war als am linken Rheinufer.

Räumliche Ausdehnung der Bruchgebiete. Suchen wir die Erstreckung dieser senkrecht zum Gebirgsstreichen in das Vorland weit hinaus verfolgbaren Brüche festzustellen, so ist freilich, wenn wir aus dem engeren Gebiete des Rheingrabens selbst und damit aus dem Felde der dankenswerten Beobachtungen SALOMONS und seiner Schüler hinaustreten, wenig Material vorhanden, das diese Brüche im wesentlichen als Blattverschiebungen erkennen ließe. Wir sind hier im allgemeinen ausschließlich auf das Südnordstreichen als Kriterium angewiesen.

V. KOENEN hat (Nachr. K. Ges. d. Wiss. Göttingen, 1886, S. 196) die Fortsetzung der Rheintalbrüche über das Vogelsgebirge und die Wetterau hinaus verfolgt bis ins Leinetal bei Göttingen, bis Hildesheim und an den Westrand des Harzes. Die von französischen Geologen auf dem linken Rheinufer nachgewiesenen Brüche streichen in der Gegend von Trier und Bittburg gleichfalls gegen N. Im S ist durch Bruchlinien längs des Juragebirges eine Verbindung des

⁷⁾ Das würde trefflich stimmen mit den Beobachtungen im Schweizer Jura, wo an den Blättern jeweils die O-Lippe nach N bewegt ist. Allerdings sind diese Jurablätter nur oberflächlich und kurz, allein man kann doch für das kristalline Grundgebirge, wie es in den Rheingebirgen sich darstellt, nicht wohl einen geraden entgegengesetzten Sinn der Bewegung annehmen.

Rhonetales mit dem Rheintale hergestellt, und die große Bruchzone reicht daher nach v. KOENEN vom Mittelmeere bis Hildesheim und unter dem Diluvium vermutlich noch weiter. Es gehört hierher vermutlich der von QUIRING beschriebene (diese Zeitschr., 1914, Mon.-Ber. S. 277) Eifelgraben Bittburg—Düren, und überhaupt die Nord-südverwerfungen in der Eifel, die nach FLIEGEL schon in der jungpaläozoischen Faltungsperiode gebildete Sprünge sind, von QUIRING aber vermutungsweise als Blätter angesehen werden, auf denen, wie er meint, erst später infolge horizontaler Zerrung in Ostwestrichtung vertikale Bewegungen eingesetzt hätten. Möglicherweise ist neben den von STILLE schon 1905 beschriebenen Kreidegräben östlich von der Egge hierher zu zählen auch das Eggegebirge selbst, bei welchem LACHMANN (diese Zeitschr., 1914, Mon.-Ber. S. 234) eher eine Dehnung in Ostwestrichtung als eine Kompression herausrechnen wollte; ferner manche steile Ruscheln im rheinischen Schiefergebirge, soweit sie ebenfalls nach N streichen, und die besonders von WINTERFELD (N. Jahrb., Beil.-Bd., 33) zusammengestellten und in ihrer Wichtigkeit betonten nord-süd-streichenden Brüche in Nordwestdeutschland.

O. REIS hat die Brüche und Gräben in Frankreich und England zusammengestellt. Ich möchte davon hier besonders anführen die Bruchsenken der Saône, der oberen Loire und des Allier, welche alle in Südnordrichtung das variskische Streichen des Grundgebirges durchbrechen. Am Nordende dieser Gräben begrenzen gleichlaufende Südnordbrüche die Schollen des Morvan, und diese Brüche lassen sich noch durch die jüngeren Sedimente des Jura bis in die Umgebung von Auxerre in den Calcaire de Beauce hinein verfolgen. Ich vermute auch hier Horizontalverschiebungen, trotzdem SUSS (Antl. III, 2, S. 29) nach M. LÉVY noch angibt, daß der Ursprung dieser Brüche unbekannt sei. Der zahlreichen Südnordbrüche, welche ohne Grabenbildung Südfrankreich und das Zentralplateau durchziehen, sei hier nur nebenbei gedacht, besonders auch der Linien der tertiären Vulkandurchbrüche im französischen Zentralplateau.

Noch in Irland läßt sich wohl eine rheinische Bruchlinie nachweisen von Dundalk-Bay nach N gegen die Basaltmasse von Belfast (n. REIS). In der gleichen Richtung verlaufen die Vulkane der inneren Hebriden, die Medina-Fault auf der Insel Wight (SUSS, Entst. d. Alp., 1875, S. 81) und die Randbrüche des Kristianiabeckens in Norwegen. In Schweden geht von der Südküste (Sölvisberg) gegen das

Südende des Wetterensees, an die Ostseite des Wenernsees und weiterhin längs der Klarebene über fünf Breitengrade fast meridional eine gerade Linie, welche das Gebiet des Järngneises nach O begrenzt. Im W davon ist der Järngneis durchzogen von meridionalen Hyperitgängen. Nach Vermutung schwedischer Geologen könnten hier uralte Verwerfungen vorliegen (Suess, Antl. III., 1, S. 479). — In Südnorwegen herrscht nach KJERULF an der Westküste ein Bruchsystem in N—S- und O—W-Richtung vor (nach HÖFER, Verwerfungen, S. 83). — Weiter nach O streichen nördlich von den Alpen folgende bekanntere Bruchlinien in gleicher Richtung: Hegauvulkane, Haßberge, Rhön, kurze Brüche westlich und südlich vom Rieskessel, deren Kreuzung mit den Ausläufern der nordwestlich streichenden Sigartlinie wohl für die Entstehung des im Rieskessel liegenden Abortivvulkans nicht ohne Bedeutung gewesen ist. Dann kommen nach O die Jura—Böhmerwald-Bruchgrenze am Keilberge bei Regensburg bis hinauf zur Bodenwöhrer Bucht, die S—N-Gänge der Regenporphyre bei Regengstau, ferner die Linie des Böhmisches Pfahles von Furth bis Marienbad; Spuren von rheinischen Linien lassen vielleicht auch erkennen die beiden Senken von Budweis und Wittingen, die, wenigstens nach K. SCHNEIDER (Orographie Böhmens, 1908, S. 1), als Gräben anzusehen sind.

Am Südrand der Karpathen ist von einer nordnordöstlich streichenden Linie Hernald—Kaschau an bis Marmaros-Szigeth das Urgebirge versenkt; auf der genannten Bruchlinie sitzt das Eperies—Tokajer Trachytgebirge auf (Suess, Entst. d. Alp., S. 38); hier ergibt sich eine merkwürdige Parallele zum Verlauf der N—S-Linie Schio—Vicenza und dem Abbruchgebiet bis westlich von Triest.

Auffallend erscheinen mir ferner in diesem Zusammenhang die wahrscheinlich tektonisch bedingte N—S-Richtung der nördlichen Zuflüsse des Dnjestr, südöstlich von Lemberg, dann die N—S-Reihe der Trachytausbrüche bei Belgrad, die Anordnung der Ophiolithe östlich vom Skutarisee und der geradlinige N—S-Abbruch der albanischen Küste von Alessio bis Valona.

Nimmt man vielleicht noch die Thermenlinie und die Senkung von Wien dazu, so wird man E. SUSS leicht zustimmen, wenn er (Entsteh. d. Alp., S. 123) sagt: „Es ist, als wäre die nordnordöstliche Richtung in größerer Tiefe die wahre Richtung der allgemeinen Bewegung und jede Ablenkung nur oberflächlich“.

Freilich haben wir mit dieser flüchtigen Durchmusterung der etwa hierher gehörigen Brüche den engeren Bereich des Alpenvorlandes und damit der Alpenstauung längst verlassen. Allein die Alpen sind ja bekanntlich nur ein Teil des großen Gebiets, in welchem wesentlich zur Tertiärzeit jene großartige Bewegung mit allgemeiner S—N-Direktion oder umgekehrt einsetzte; die Pyrenäen und die Iberische Masse schließen sich nach W, die Dinariden und der Balkan nach O an.

Direkte Beweise dafür, daß es sich bei diesen S—N-Brüchen durchgehend um Blätter handle, sind, wie gesagt, vorläufig noch selten zu erbringen. Immerhin scheint mir an drei Orten, am Schwarzwaldrand, im Leinetal und am böhmischen Pfahl eine Tatsache wesentlich für Horizontalbewegung zu sprechen, das ist bei gleichbleibendem Streichen das Pendeln der Einfallebene über die Saiger-Linie hinaus. Bereits oben wurde dieser Wechsel des Fallens als eine wahrscheinlich charakteristische Eigenschaft der Blattverschiebungen angesprochen, denn es ist schwer vorstellbar, daß bei radialen oder vertikalen Bewegungen derartige extreme Schwankungen sich vollziehen können, wobei natürlich nicht die kleinen Differenzen im Einfallen, welche die bucklige Harnischform der Rutschflächen hervorbringen, gemeint sind. Allerdings könnte als Ursache möglicherweise noch Torsion in Frage kommen, und DAUBRÉE hat in der Tat bei seinen Experimenten mit Glas derartige windschiefe Bruchflächen erhalten und diese Brüche in ausgedehntem Maße zur Erklärung von parallelen Frakturen der Erdoberfläche herangezogen. Allein, man muß bedenken, daß DAUBRÉE die horizontalen Blattverwerfungen noch nicht kannte; auch hat sich STUËSS (Antl. I, S. 164) schon etwas zweifelnd über die Anwendbarkeit der genannten Experimente besonders für die Brüche im Harz geäußert. DEECKE erklärt (diese Zeitschr. 1917, S. 216) z. B. das Tal von Owen für eine Zerreißung mit wechselndem Verwerfungssinn, also nicht als eigentlichen Bruch, sondern als „Klaffspalte“. — Freilich könnte auch eine derartige Drehung des Einfallens dadurch zustande kommen, daß die eine Flügelpartie in ihrem Verlauf nachträglich gehoben wurde. v. HÖFER (Verwerfungen, 1917) unterscheidet deshalb mit Recht eine syngenetische von einer epigenetischen Drehbewegung. Doch sind mir wenigstens für die hier zu nennenden drei Stellen keine Gründe bekannt, welche eher für epigenetische Bewegungen

sprechen würden. (Vielmehr zeigt sich auch am später zu behandelnden bayerischen Pfahl nach v. GÜMBEL (Ostbayer. Grenzgeb., S. 504) ein so häufiger Wechsel des Einfallens auf kurze Entfernungen, daß an eine epigenetische Bildung nicht zu denken ist.)

Nehmen wir also den windschiefen Verlauf, d. h. das Wechseln der Einfallsebene, als bezeichnend für vorwiegend horizontale Bewegung, so sei zunächst angeführt, daß das vielgenannte widersinnige Einfallen der Rheinbrüche am Schwarzwaldrand neuerdings von E. BLÖSCH (Neues Jahrb., Beil.-Bd. 29, S. 602) genauer dahin präzisiert wurde, daß die Verwerfungsfläche zwischen Staufen und Badenweiler steil nach W, und ausnahmsweise auch gegen O fällt. Ferner fällt der böhmische Pfahl nach SOKOL (Bull. Akad. Böhm. 1911) im allgemeinen mit $42-90^\circ$ gegen O ein, an zwei Stellen aber, bei Furth und bei Neu-Grammatin, nach W. SOKOL, schließt sich der früher von mir am bayerischen Pfahle gegebenen Deutung an, daß die Lippenränder der Verwerfung, auf welcher dann der Quarzgang sich herausbildete, gegeneinander bewegt worden waren⁸⁾. Die Bewegung war höchstwahrscheinlich wesentlich in horizontaler Richtung erfolgt (worauf auch die Form der Ablösungsflächen, z. B. in den Quarzgängen des herzynischen bayerischen Pfahles, hinzudeuten scheint, insofern das längere Aushalten der Hohlkehlen in horizontaler Richtung dies wahrscheinlich macht). — Aber auch das Gebiet des Leinegrabens scheint mir einen Beleg zu liefern;

⁸⁾ Diese Erklärung für die Möglichkeit von klaffenden Stellen einer Bruchspalte hatte ich (Geol. Profil Waldkirchen-Haidmühle, Geogn. Jahresh. 1909) in folgender Form gegeben: „Nach eingetretenem Bruche wurden an der Verwerfungsstelle die beiden Lippen noch irgendwie gegeneinander bewegt, wenn auch an verschiedenen Stellen in verschiedenem Sinne, wie das schon von GÜMBEL konstatierte Wechseln in Einfallen der Schiefer und des Quarzanges nach NW oder SO bezeugt: . . . Es mußten Einbuchtungen der Bruchlippen einander gegenüber zu stehen kommen, welche dadurch klaffende Risse bildeten . . . Die Frage, ob Spalten klaffen können, ist demnach unbedingt zu bejahen.“ VON KOENEN hat sich dann später über Veränderungen des Verhaltens von Störungen (Jahresber. Niedersächs. Geol. Ver. 1913) so ausgedrückt: „Wenn sich eine wellenförmig gebogene Spaltfläche bewegt, dann entstehen sofort zahlreiche Stücke, an denen die Salbänder auseinanderweichen und offene Spalten bilden.“

V. KOENEN, dem meine früher erschienene Publikation vorgelegen hatte, hat jedenfalls übersehen, daß ich schon 4 Jahre früher den gleichen Gedanken geäußert hatte.

STILLE schreibt nämlich darüber (Tekt. Evolut., Leipzig 1913, S. 25, Fußn.): „Eine Gesetzmäßigkeit hinsichtlich einer bestimmten Richtung der Ueberschiebungen ist nicht erkennbar . . . Ein sprechendes Beispiel dafür ist der Leinetalsattel in Südhannover. Südlich von Alfeld ist der Westflügel gesunken und der Ostflügel auf ihn überschoben, während nördlich von Alfeld der Ostflügel gesunken und der Westflügel über ihn emporgeschoben ist. Es legt sich der Rand des Harzes über sein gesunkenes nördliches Vorland, während der Überschiebung des Osning durch den sinkenden Südflügel des Osningsattels ihre Richtung vorgezeichnet war.“ — Über den letzten Punkt wird später noch zu sprechen sein. Bezüglich des Leinetalsattels scheint mir aber der genannte Bildungsprozeß sehr schwer vorstellbar, solange nicht scharfe Querklüfte in O—W-Richtung die Annahme einer Änderung in der Schubrichtung von S nach N ermöglichen. Viel einfacher ist, glaube ich, die Erklärung durch Horizontalverschiebung in S—N-Richtung, die sich von den seinerzeit durch POSEPNY in Raibl gewonnenen Resultaten gut ableiten läßt.

Bezüglich der räumlichen Ausdehnung der Brüche des Coloradoplateaus in Amerika ist die bei SUESS gegebene Kartenskizze beizuziehen. Deutlichere Merkzeichen für Horizontalbewegung sind mir von dort nur bekannt durch v. HÖFER (Verwerfungen, S. 53), wonach am Sevierbruch in Utah der zuerst 1000 m mächtige Sprung nach N in einen Wechsel übergeht, somit nach v. HÖFER einen zweiseitigen Drehverwurf darstellen soll.

Riesengroß ist aber das Areal, von dem die Gräben und Brüche in Afrika einen Teil bilden. In diesen Bereich sollen ja nach SUESS (Entst. d. Alpi, S. 125) noch fallen: Der steile Gebirgsabbruch der westlichen Ghats in Indien, dann die Ostküste von Madagaskar, die Westküste von Australien und wohl auch die S—N-Linie der Lakkediven und Malediven. SUESS hat auch darauf hingewiesen, daß französische Forscher eine latente Disposition zu meridionalen Brüchen und Gebirgsbildungen mit dem submeridionalen Streichen der Sahariden in Zusammenhang gebracht haben. Bestimmte Kennzeichen, welche innerhalb dieses riesigen Gebiets auf horizontale Bewegungen bei Entstehung jener Bruchspalten hinweisen würden, kennen wir meines Wissens noch nicht, es muß auf das geographische Verhältniß zu den quer in S und N hereindringenden

großen Gebirgsketten und auf die analogen Verhältnisse im besser untersuchten Europa verwiesen werden⁹⁾.

Jedenfalls beweisen die zahlreichen N—S-Brüche auch in Europa, daß die große meridionale Bruchzone nicht erst östlich des Kaspisees einsetzt, wie E. SUËSS 1875 meinte (Entst. d. Alp., S. 124).

IV. Quer- und Längsbrüche und -gräben.

In allen Faltengebirgen beobachtet man streichende Brüche in Form von Überschiebungen, auch Unterschiebungen, gelegentlich, bei widersinnigem Einfallen, auch in Form von Sprüngen. Ihre Entstehung ist analog allen Querstörungen auf Druckdifferenzen zurückzuführen, nur daß diese sich in der Richtung quer zum Schub äußern, anstatt wie bei den Blättern parallel zu ihm.

Diese streichenden Störungen greifen, was man hier schon länger beobachtet hat, auch auf das Vorland über; SUËSS' Vortiefen gehören hierher, welche oft auch als eine Art Gräben bezeichnet werden, allerdings vielfach fälschlich, wenn die Bruchränder nicht geologisch gleich gebaut sind. Echte streichende Grabenversenkungen sind aber auch zahlreich bekannt, so besonders aus den asiatischen Gebirgen (Übersichtskarte bei SUËSS III, 1), bei welchen nur das Senkungsgebiet des Ebi-Nor eine Ausnahme zu bilden scheint. In Europa wären von streichenden Gräben besonders zu nennen der schottische Graben und der Saar-Nahe-Saale-Graben, in Amerika die ungefähr parallel den Bergketten ziehenden Senken im nordamerikanischen Zwischengebirge und in den südamerikanischen Andes.

Auch bei diesen Längsgräben ist wohl stets die randliche Bruchbildung das ursprüngliche gewesen. Sie ist ein Ausdruck von Differenzierungen der bei den weiten epirogenetischen Faltenwürfen nach den Seiten wirkenden Pressungserscheinungen bei der Aufwölbung (und Bildung der Quer-

⁹⁾ Bei dieser Gelegenheit sei darauf verwiesen, daß SUËSS (Antl. I, S. 771) sagt, daß am Südrande der nordafrikanischen Gebirge gesenktes Vorland in flach gelagerten Tafeln in den großen Schotts beginnt und bis an die meridionalen Verwerfungen Syriens reicht. Man kann sich nun des Gedankens schwer erwehren, daß SUËSS, wäre er nicht so von Vorliebe für Bogenformen erfüllt gewesen, eine viel natürlicher erscheinende Verbindung der gleichsinnig gegen Süden gefalteten nordafrikanischen Gebirge über Kreta und Zypern mit den taurischen Ketten konstruiert hätte.

brüche und -gräben), und zwar besonders auch dann, wenn in Zonen von flacher Einmuldung ein Ausweichen der Scholle in toto nach der Seite nicht möglich war. Denn in derartigen Mulden oder wenigstens von der Aufwölbung nicht aus ihrem Niveau emporgebrachten Stellen ist der seitliche Tangentialdruck nicht aufgehoben und fernerhin wirkt die starke Reibung auf der Unterlage mächtig mit ein. (Es kann ja auch nicht zur Bildung von Quergräben kommen in nicht emporgewölbten Gebieten, wenn freilich die Blattrisse durch Ebenen oder Mulden ungestört, aber auch unbemerkt hindurchziehen werden.) An die Stelle des seitlichen Ausweichens im großen können nur differenzierte Ausweichbewegungen senkrecht zur Schubrichtung treten, wobei Kontinuitätstrennungen sich einstellen müssen, deren Abstände nach dem Material, und wohl auch nach der Stärke und Zahl und dem Zeitabstand der Druckperioden sich bemessen müssen. Eigentlich selbstverständlich ist dabei, daß nicht oberflächliche mehr oder minder plastische Sedimente allein diese Zonen bilden; in diesen kommt es nur zur transversalen Schieferung senkrecht zur Druckrichtung und zur Ausbildung des Longrain senkrecht zur Schieferung, einer verkappten Absonderung, welche mit den parallel zur Druckrichtung orientierten echten Querblättern zum Teil identisch ist. Im kristallinen Gebirge dagegen ist die innere Reibung so stark, daß nur in größeren Abständen derartige Ablösungsbrüche sich herausbilden¹⁰⁾.

¹⁰⁾ Ich folge hier eher E. SUESS (Antl. III. 2, S. 28), welcher glaubt, daß an den Klüften des zertrümmerten Landes Verschiebungen bald geringeren bald größeren Maßstabes eintreten. daß dabei aber das Netz der Mosaikfugen durch die Senkung nicht erzeugt, sondern benützt und sichtbar gemacht wurde. Die Reihenfolge der Vorgänge ist also bei SUESS die, daß zunächst eine Zertrümmerung des Bodens in Schollen und damit Absenkungen verschiedenen Grades derart erfolgten, daß Horste und Senkungsfelder entstanden (nach STILLE, Rahmenfaltung, nied.-sächs. Geol. Ver. 1910, S. 143).

Ich möchte hier aber noch weiter gehen. Es wird, glaube ich, wesentlich auch noch auf die Tiefe der vertikalen Brüche, also auf die Dicke der durch sie isolierten Tafeln ankommen. ob an den Bruchstellen nur Absenkungen, Hebungen und Überschiebungen entstehen, oder ob sie nicht Anlaß geben zu (epirogenetischer?) Faltenbildung, insofern der Raum zwischen zwei bedeutenderen Bruchlinien als Ganzes behandelt und gewölbt oder durchgebogen werden kann (disjunctive Faltung).

STILLE nimmt den umgekehrten Verlauf an: erst Faltung, dann Bruch. Er mag darin vollkommen recht haben für die

Dabei regt sich wieder die Idee, daß z. B. eine derartig besonders gepreßte, dem Streichen der Faltengebirge parallele Partie besondere Neigung haben wird, nach der Erdoberfläche zu, wo der geringste Druck herrscht, auszuweichen, daß eine solche Zone also unter Umständen über ihre Umgebung hervortreten kann, was dann, wenn das Einfallen nicht genau senkrecht erfolgt, zu Verwechslungen mit echten Verwerfungen oder Überschiebungen Anlaß geben könnte^{10a}). Und weiterhin erscheint in diesem Zusammenhang ein Gedanke von HOPPE (Zeitschr. f. prakt. Geol., 1907, S. 141) von Bedeutung, wonach bei derartigen Pressungen sich starke Wärme entwickeln muß, die zu Ausdehnung führt und die Sprungbildung zumal bei der wieder eintretenden Abkühlung erleichtert. Es wären das dann gewissermaßen entokinetische Abkühlungsspalten mit einer von außen diktierten und aufgeprägten Orientierung.

Die Steilstellung der Schieferung und die Fächerstruktur vieler Horste, besonders im Aaremassiv und Gotthard, wären so, d. h. durch Zusammenpressen und Überquellen, leichter zu erklären, als durch Emporpressen des ganzen Stockes, dem doch die gewaltige Reibung im Wege steht.

Derartig streichende epirogenetische Druckgebiete werden nun, wenn spätere gleichgerichtete Gebirgsbildung auf ein derartiges Terrain übergreift, natürlich einerseits zu Sätteln, andererseits zu Mulden. Die Randbrüche können

Längsbrüche und Blätter in Faltengebirgen und deren Vorland, aber nur solange, als sie sich um bis dahin von tektonischen Runzelungsprozessen vollständig unberührte Gebiete handelt. Werden aber derartig gebrochene Gebiete später von einer Stauchung betroffen, so müssen unbedingt wie die vorhandenen Rämpfe älterer Gebirge, so auch schon die Bruchlinien allein einen Einfluß auf die Rahmenfaltung ausüben als *loci minoris resistentiae*.

Also um die Sache noch einmal klar darzustellen, ich meine, daß die Längsbrüche und Blätter infolge orogenetischer und auch epirogenetischer Faltung, d. h. gleichzeitig oder etwas später als sie entstehen. Aber eine durch Längsbrüche begrenzte Mulde ist noch kein Graben; das wird sie erst, wenn nachher eine besondere Senkung der Mulden oder eine besondere Heraushebung der gebrochenen Sättel nach Art der gestelzten Bögen in der Architektur erfolgt. Und in diesem Sinne sind die Brüche für den Graben präexistierend und für seinen Verlauf bestimmend, und das gleiche gilt für die Sättel. STILLE würde das wohl so ausdrücken, daß orogenetische Vorgänge später von epirogenetischen überdeckt werden. Ich halte allerdings, wie schon gesagt, diese genaue Unterscheidung zwischen oro- und epirogenetisch in der Praxis nicht recht für durchführbar.

10*) So vielleicht bei der Münchberger Gneisinsel.

aber auch, wie ROTHPLETZ hervorgehoben hat, Überschiebungen einleiten, wie solche ja auch an jedem normalen Quergraben sich einstellen können, wenn durch spätere Senkung des ganzen Gebiets oder nachträgliche tektonische Bewegungen senkrecht zur Grabenachse die freiragenden Pfeiler gegen die Senke eingedrückt werden.

So kann man die Beobachtungen, die SALOMON am Ebersbacher Graben gemacht und die ihn zur Annahme von Überschiebungen führten, deuten, und sie würden, wenn man sie als Spätstadium auffaßt, ganz gut mit der hier vortragenen Ansicht von der Bildung der Quergräben in Einklang zu bringen sein.

V. Folgerungen.

Die Möglichkeit, das meridionale rheinische Bruchsystem in Spuren durch den Faltenjura hindurch quer durch die Westalpen bis zum Mercantour zu verfolgen, läßt keinen Anlaß zu, jenes von den alpinen Querblättern, deren horizontale Bewegung und Entstehung mehreren Orten unzweifelhaft in den Alpen nachgewiesen ist, systematisch und also wohl auch genetisch zu trennen.

Die Orientierung senkrecht zu Faltengebirgen, welche in ihrem Faltenbau die Richtung des auch wohl in größerer Tiefe noch wirkenden Druckes erkennen lassen, der manchmal deutlich primäre windschiefe Verlauf des Einfallens, zumal, wenn vorherrschend horizontale Streifung der Rutschflächen sich zugesellt, sind ebenso Eigentümlichkeiten, welche die Brüche der großen Quergräben mit den echten Horizontalverschiebungen oder Blättern innerhalb der Faltengebirge teilen. Sind diese nur Oberflächengebilde innerhalb der Schubmassen, Schubdecken und -falten, so entstammen jene den Kraftäußerungen in größeren Rindentiefen, und es ist, scheint mir, kein Grund vorhanden, beide systematisch voneinander zu trennen, wenn auch ihre Bildungszeiten oft nicht zusammenfallen.

Parallele meridionale Brüche dazu finden sich noch sehr zahlreich in West- und Mitteleuropa bis Skandinavien hinauf, entsprechend dem allgemeinen Nordschub von den Pyrenäen bis zum Balkan, aber zu eigentlicher Grabenbildung ist es außer dem Tal des Oberrheins und seinen nördlichen Fortsetzungen bis Hildesheim wenigstens zwischen den geographischen Längen des alpinen Bereiches vielleicht nur mehr am Wettersee in Schweden gekommen:

nach W fügen sich die Gräben des französischen Zentralplateaus an. Diesen Südnordbrüchen entsprechen, allerdings meist nicht so stark hervortretend, senkrecht dazu stehende Ostwestbrüche, abzuleiten von Ausweich- und Ausgleichbewegungen von derselben Gattung wie bei der nur dem Grade nach intensiveren sekundären Schieferung.

Auch in den anderen großen Grabengebieten ist der Druck, wie die Faltenbewegungen der quer anstoßenden Gebirge zeigen, gegen das Gebiet der Brüche gerichtet gewesen und hat ebenfalls in den weitgespannten Wellen der Kontinentalplateaus eine Menge derartiger horizontaler Verschiebungen erzeugt. Die Quergräben an sich sind viel seltener als die Brüche; sie entstehen also nur unter besonderen Umständen, nämlich da, wo vermutlich durch eine Art Schraubstockwirkung im Sinne von E. DE BEAUMONT (Suess, Antl. III, 2, S. 77) noch besondere epirogenetische Extrawölbungen aufgerichtet wurden, die von derartigen Blattbündeln durchzogen unter dem zu den Blättern parallelen Druck auseinandergepreßt wurden.

Die Längsgräben, parallel streichend mit den randlichen Faltengebirgen und größtenteils in diese einbezogen, sind stets Mulden, randlich durch Brüche begrenzt und entstanden infolge zu geringer Faltungsmöglichkeit des kristallinen Untergrundes, welche zu vereinzelt parallelen Brüchen führen mußte.

Also stehen nicht nur die Längsgräben, sondern auch die Quergräben stets mit Faltungen in Verbindung; sie sind aber nicht eine Folge der orogenetischen Gebirgsfaltung an sich, sondern beide, Gräben sowohl als auch zugehöriges Faltengebirge sind gleichmäßig, wenn auch nicht gleichzeitig, verursacht durch auch in bedeutenderer Tiefe sich vollziehende seitliche Bewegungen und Pressung ganzer großer Schollen, wobei die jeweils tiefere oder höhere Lage des Druckniveaus innerhalb der starren Erdkruste ausschlaggebend war.

Weil nun bei allen Gräben nach dieser Auffassung sich niemals eigentliche Zerrung, sondern stets z. T. auseinander-treibende Druckwirkungen geltend gemacht haben, ist alles Wirkung des tangentialen Gewölbedruckes innerhalb der Erdkruste und besteht also kein Gegensatz zwischen Faltung und Zerrung, wie Suess noch gemeint hatte (Antl.

III, 2, S. 316); allerdings kommt immer nur eine bestimmte Druckrichtung für den betreffenden Graben und das zugehörige Gebirge in Frage. —

Wie bekannt, zeigen die geologischen Karten wohl überall, wo parallele Bruchsysteme auftreten, auch dazu rechtwinklig stehende Dislokationen, wengleich letztere oft nicht in gleicher Stärke und Schärfe sich ausdrücken. Die Deutung dieser gekreuzten Bildungen wurde bisher nur z. T. in der Weise vorgenommen, daß diese Bruchrichtungen zu einem zugehörigen Faltengebirge senkrecht und parallel ständen. Vielfach aber wurde auch angenommen, daß der eigentliche Druck unter 45° auf derartige Gebiete gewirkt habe. Man stützte sich dabei auf Experimente von DAUBRÉE (Experimental Geol. 1880). Dieser Forscher erhielt nämlich rechtwinklig aufeinanderstehende Sprungsysteme auf zweierlei Art: erstens durch Torsion, besonders von Glasplatten, wobei die drehende Kraft parallel zu den daraus resultierenden Sprüngen drückend wirkte; zweitens durch Pressung von Würfeln, wobei die Trennungsflächen in den Diagonalen zur Druckwirkung auftretend ebenfalls sich unter 90° kreuzende Sprungsysteme ergaben. Außerdem erhielt er aber, was sehr wichtig ist (S. 241 der d. Ausg. von GURLT), gelegentlich auch Zerteilung der gepreßten Würfel in längliche Prismen, orientiert parallel der Druckrichtung.

Geen die Übertragung der DAUBRÉESchen Torsionserscheinungen auf die Natur war zunächst nicht sehr viel einzuwenden, wengleich ihre Häufigkeit kaum sehr groß sein dürfte. Diese Torsionsresultate waren für DAUBRÉE eben ein bequemes Auskunftsmittel, nachdem er, wie schon erwähnt, die Blattverschiebungen und die darauf senkrechten Ausweichsprünge noch nicht kannte. Aber die beiden anderen Experimente DAUBRÉES, auf die man sich noch immer beruft (z. B. BECK, Erzlagerstättenlehre, 1901, S. 187) sind falsch gedeutet. DAUBRÉE meinte: „Im allgemeinen hat ein kubisch behauener Stein die Neigung, in Pyramiden zu zerbrechen, indessen können die sog. harten Steine (Kreidekalke von Ardèche, Kohlenkalke von Belgien) Sprünge bekommen, die rechtwinklig zur Druckebene liegen und oft beinahe parallel sind. Doch hat der Festigkeitsgrad der Massen auf diese Resultate großen Einfluß“. Um nun größere Annäherung an die Erscheinungen in der Natur zu erreichen, nahm er zu seinen Versuchen plastischere Mischungen, nämlich von Gips, Wachs und Harz, demnach ähnlich wie Formmastix, und erhielt jetzt

allerdings durch Pressung die Absonderungen unter 45° gegen die Druckwirkung.

Häufige Wiederholungen der DAUBRÉESchen Druckexperimente in der AMSLERSchen Druckmaschine zwecks Festigkeitsprüfung ergeben nun stets das gleiche Resultat wie bei DAUBRÉE an seiner plastischen Mischung¹¹⁾. Die an den Druckplatten liegenden Würfelflächen bilden nach der Pressung die Basen von zwei aufeinanderstehenden mit den Spitzen sich berührenden vierseitigen Pyramiden, während von den vier freien Würfelflächen sich der theoretische Randwulst gleichfalls in Form von vier ebenso gebildeten und ebenso zueinander orientierten Pyramiden abgelöst hat. Das Resultat ist aber fast genau das gleiche, ob man Granit, Sandstein oder Kalk nimmt, also spielt hierbei nicht die Härte des Gesteins die Hauptrolle, wie DAUBRÉE gemeint hatte. Der Grund, warum die Trennungsflächen unter 45° zur Druckwirkung einsetzen, liegt vielmehr darin, daß die große Reibung an den ebenen Druckplatten der Maschine ein Ausweichen nach der Seite unmöglich macht. Wäre diese Reibung nicht, so würde die Absonderung wegen des durch den Druck verursachten Auseinanderdrängens der Teilchen parallel zur Druckrichtung erfolgen. A. FÖPPL, dem wir diese Aufklärungen verdanken (Abhängigkeit des Bruches von der Art des Spannungszustandes, Mitt. d. Mech.-techn. Labor. Techn. Hochsch. München, Bd. 27, 1900), hat dies experimentell nachgewiesen, indem er zwischen die zwei Druckplatten und die Gesteinswürfelflächen Fettsubstanzen oder Wasserkissen anbrachte, um die Reibung möglichst zu vermindern. Jetzt erhielt er genau das gleiche Resultat wie DAUBRÉE (der sich über die Anordnung seines Versuches nicht näher ausspricht) an seinen „harten“ Kalken, nämlich lauter Prismen mit Begrenzungsschichten parallel der Druckrichtung, also orientiert wie Blätter und Deckelklüfte.

Nun gibt es wohl in allen Faltungs- und Bruchgebieten auch diagonale oder spießeckige Brüche; ich selbst habe sie in dieser Arbeit angenommen für die Brüche der versenkten Grabenspangen bei ihrer Längsverkürzung. Sie

¹¹⁾ Die folgenden technischen Angaben stammen von Herrn Geh. Hofrat Prof. Dr. A. FÖPPL, Direktor des mechanisch-technischen Institutes unserer Hochschule. Ihm sowie Herrn Hauptkonservator Prof. SCHMEER sei auch hier der verbindlichste Dank hierfür ausgesprochen.

stellen sich aber nur ein, wie ein weiteres Experiment von DAUBRÉE (bei GURLT S. 246) zeigt, wenn Falten zerreißen, wenn also Faltung möglich war und auch wenigstens in ihren Anfängen schon vorangegangen war, so mit vertikaler Achse der Faltung in den Grabenschollen, mit horizontaler Faltenachse als Anfänge der Faltenüberschiebungen in den Alpen. Aber im großen und ganzen tritt doch, besonders innerhalb des kristallinen Gesteins, diese Art der diagonalen Klüftung sehr zurück gegenüber den echten Längs- und Querbrüchen, und man wird demzufolge, wenn man ein gekreuztes Bruchsystem findet, die Druckrichtung wohl vorwiegend parallel einem Bruchsystem vermuten dürfen. Die kritische Beleuchtung der DAUBRÉESchen Versuche durch A. FÖPPL kann uns darin nur bestärken, denn so gleichmäßig einsetzender Druck und darum so große und gleichmäßige Reibungswiderstände wie bei den ebenen Platten einer Pressungsmaschine werden sich in der Natur wohl selten finden¹²⁾.

Wir kennen aber in Europa außer den rheinischen, zu den Alpen usw. orientierten Süd- und Ostwestbrüchen noch zwei Systeme von parallelen Bruchbündeln, von denen gleichfalls eines auf dem anderen senkrecht steht; wir nennen sie die Nordost- oder variskischen und die Nordwest- oder herzynischen oder auch KARPINSKYschen Linien. Dieses „Guilloché“, das EDUARD SUESS (Entst. d. Alpen, S. 150) zunächst nur in manchen Teilen Böhmens fand, das aber auch schön im Harz und in Thüringen zu konstatieren ist, ist nach ihm das Resultat einer „Kontraktionskraft, welche seit außerordentlich langer Zeit innerhalb sehr ausgedehnter Regionen in ihrer (meridionalen, Verf.) Richtung im wesentlichen dieselbe geblieben ist“. „Das ganze nördlich von den Alpen liegende Land hat weithin ebenfalls den Einfluß der großen seitlichen Kraft erfahren. Ihre Wirkung tritt vom Böhmerwalde bis nach Schottland in bald in NO, bald in NW streichenden Linien hervor.“ SUESS meint hier allerdings in erster Linie die Streichlinien der Gebirge; allein mit diesen laufen jene Bruchlinien so ziemlich parallel.

¹²⁾ Das scheint auch ein Versuch von STAN. MEUNIER (Compt. Rend. 118, 1894, S. 1290) zu beweisen; er übergießt einen gespannten Kautschukstreifen mit Stearin. Mit dem Nachlassen der Spannung zerfiel das Stearin in polyedrische Stücke; zwei Spaltensysteme entstanden durch Zusammenziehung des Kautschuks in der Längsrichtung, eines durch die Ausdehnung in der Richtung der Breite.

Hier also werden so recht im Sinne der falsch verstandenen DAUBRÉESchen Druckexperimente die beiden Kreuzrichtungen der Spalten und Gebirge durch einen einheitlich und diagonal von S kommenden Druck zu deuten versucht. Später hat allerdings SUESS diese Deutung z. T. aufgegeben; im dritten Bande des Antl. der Erde (III, 2, S. 33) analysiert er insbesondere die herzynischen Bruchlinien und hebt hervor, daß sie aus einer gemeinsamen, von der variskischen Faltung unabhängigen, Ursache hervorgegangen seien. Ihre gleiche Richtung, ihr geradliniger Verlauf bis zur Länge von 440 km, ihre fast ausschließliche Überschiebung gegen SW und fernerhin die gekrümmte Einlenkung des Elbbruches in die Fuge bei Brünn werden als besonders bezeichnende Merkmale genannt. Die von manchen Forschern angenommene Verbindung des Elbbruches mit den Brüchen am Nordrande des Harzes wird von SUESS abgelehnt; dafür „liege keine Veranlassung vor“, wohl weil am Harze die Überschiebung umgekehrt gegen NO gerichtet ist und deshalb nicht recht in das gewonnene Schema hineingepaßt hätte. Überhaupt ist nach SUESS (ibid. 723) das Wesen der KARPINSKYSchen Linien, denen nach v. KOENEN die herzynischen Brüche entsprechen (ibid. 39), unbekannt.

Nun ist aber gerade der Wechsel im Einfallen nach der hier vertretenen Auffassung am einfachsten durch Horizontal-Verschiebung zu erklären und diese ist gerade am Elbbruch durch SIEGERT (zit. nach ROTHPLETZ, Geol. Probl., S. 103) und BECK (Erzlagerstätten 1901, S. 165) in Form von horizontal gestreiften Rutschflächen unzweifelhaft nachgewiesen; auch der häufige Wechsel des Einfallens läßt sich schon dort finden (ROTHPLETZ, ibid. S. 115) und er läßt sich weiter verfolgen bis an den Nordrand des Harzes mit seinem bisher lediglich als Überschiebung aufgefaßten Einfallen nach SW¹³⁾, während im weiteren Verlauf die Abbruchlinie des Teutoburger Waldes wieder in scheinbarer Überschiebung nach NO einfällt. Und die herzynischen Linien in dieser Gegend sind von VAN WATERSHOOT VAN DER GRACHT (zit. n. STILLE, Tekt. Evol., S. 27) bis nach England verfolgt worden. — Beim bayerischen Pfahl, der gleichfalls nach NW streicht, hat GÜMBEL ein wiederholtes Umschlagen des Fallens von SW nach NO auf kurze Entfernung beob-

¹³⁾ H. SCHRÖDER und besonders H. CLOOS (Geol. Rundsch. VI, 113) wollen neuerdings die Überschiebung des Harzes gegen NO im einzelnen nachweisen.

achtet, und die bei Vilshofen und Straubing konstatierte sogenannte Überschiebung der böhmischen Masse gegen SW über Mesozoikum wird, wie ich im Kinskoferschen Granitbruch konstatieren konnte, bei Deggendorf durch eine Zone unterbrochen, längs welcher die zweifellos exokinetischen Klüfte im Granit mit 45° direkt gegen S einfallen. Aus wohl ähnlichen Erwägungen hat auch schon HERITSCH (Erdbebenwarte IX, 1—12, Laibach) die Linie Regensburg—Passau als Blattbildung senkrecht zur Mürzlinie bezeichnet, ebenso die Sudetenlinie. Die von KRUMBECK neuerdings bei Erzhäuser konstatierte Überschiebung nach SW geht damit parallel (Sitzg.-Ber. phys. med. Soz. Erlangen, 1914, S. 121).

Das sind doch in diesem Zusammenhang Momente, welche kaum mehr eine andere Deutung zulassen, als daß wenigstens ein Teil dieser nach NW streichenden herzynischen Bruchlinien ursprünglich horizontale Verschiebungen von Blattnatur gewesen sind. Übrigens nimmt man schon längst echte Blattverschiebungen in Nordwestrichtung an im Harz und besonders im niederrheinischen Schiefergebirge. Die geologischen Karten von dort erinnern in der scharfkantigen Begrenzung und den seitlichen Verschiebungen der Formationsgebilde direkt an Ruinenmarmor. Aber man hat, soviel ich weiß, bisher diese Blätter nicht mit einem bestimmten Gebirge in Verbindung gebracht, außer höchstens mit der Entstehung der Alpen, was nach meinen obigen Darlegungen nicht mehr zugänglich sein dürfte.

Sehen wir uns nun nach der Verbreitung dieses Sprungsystems um: Die ganzen armorikanischen Brüche haben das gleiche Streichen und gehören hierher; ferner endigt dieses nach NW orientierte Bruchgebiet, das auch die berühmte DAUBRÉESche Lithoklasengegend in Nordfrankreich in sich schließt, eigentlich nicht in Schonen, wie SUESS meinte; ein Blick auf die geologische Karte lehrt, daß es in Form von Trennungslinien, Brüchen und geradlinigen Flußältern noch ganz Schweden durchsetzt und auch in Finnland besonders in den Falten der ältesten Formationen, dann in der Anordnung der Seenketten und besonders auch in den Uferkanten des Onega- und Ladoga-sees zu erkennen ist (SUESS III, S. 477).

Damit stehen wir aber fast am Fuße der Überschiebungsüberreste des gewaltigsten europäischen Gebirgssystems, der Kaledoniden, die mit Zentraleuropa tektonisch noch

verknüpft sind durch gleichzeitig gebildete Ausläufer, so in den Massen von Rocroi, Serpont und des Hohen Venn, ferner in Spuren bis nach Thüringen, ins Erzgebirge, die Oberlausitz (PIETZSCH, diese Zeitschr. 1909, S. 79) und bis an die Petschora. Der zu dem Kaledonischen Gebirge ungefähr rechtwinklige Verlauf, die Verbreitung entsprechend der ganzen bekannten Ausdehnung jenes Gebirges, der bisweilen, wie erwähnt, deutlich hervortretende Charakter als Horizontalverschiebung lassen es wohl als sehr plausibel erscheinen, die herzynischen Nordwestlinien wenigstens in ihrer ursprünglichen Anlage als Blätter jener kaledonischen Faltung zu betrachten. Dann sind die seltenen variskischen Brüche und Grabensenkungen aber nichts anderes als die zugehörigen Längsbrüche und Längsgräben.

Es müßten aber diese gekreuzten Bruchsysteme etwa schon seit der Zeit des Unterdevons gebildet worden sein. Nun hat DENCKMANN in der Tat (Arch. f. Lagerstättenforsch., Berlin, 1910, S. 22) im Siegerlande nordwestlich und nordöstlich streichende Brüche aus der Zeit des Mitteldevons nachgewiesen. Ferner (ibid. 1912) wird dort unterschieden eine jungunterdevonische oder altmitteldevonische Faltung in NNO, dann im Mitteldevon Schollenabbrüche nach SSW und W und dann vielleicht noch eine jungkarbonische „präsideritische“ Faltung; jedenfalls aber aus dieser Zeit eine intensive Schieferung, die ostnordöstlich streicht, also ungefähr variskisch.

Da nun die jungkarbonische Faltung, wie die Überschiebungen im nördlichen Kohlengebiet beweisen, aus Druck von S sich herleitete, konnte es wohl nicht ausbleiben, daß sie von diesen präexistierenden Bruchbildungen beeinflusst wurde, denn sonst wäre der Verlauf der erst im Karbon gefalteten Kerne des sogenannten variskischen und armorikanischen Gebirges, soweit wir sie aus den gehobenen Grundgebirgsschollen rekonstruieren können, nicht so stark abweichend von der Ostwestrichtung und nicht nahezu der gleiche wie jene Bruchrichtungen. Man sieht, ich komme auf etwas anderem Wege zu ähnlichen Resultaten, wie M. BERTRAND für Nordfrankreich und Südengland (Bull. soc. géol. France, XX, S. 92 und Compt. Rend. 1892). Und so verlief die Gebirgsbildung von Süd-irland über Südengland bis ins Zentralplateau nach SO, dann über die Rheingebirge, Harz und Erzgebirge nach

NO und von da in abermaliger bajonettartig rechtwinkliger Knickung wieder nach SO. Und daß sogar die tertiäre alpine Faltung noch jene alten Linien benützt hat, lehrt das erst variskisch dann herzynisch streichende Karpathengebirge, dessen Analogie mit dem erzgebirgischen Bogen so oft konstatiert, aber, soviel ich weiß, niemals zu erklären versucht worden ist.

Man wird verschiedenes gegen diese Erklärung einwenden; zunächst, daß keine scharfen winkligen Knickungen da seien, sondern sanfter sich windende Bögen. So hat STÜESS entsprechend seiner Vorfaltungstheorie die Bogenform ja immer besonders betont, und wo diese ins Gegenteil umschlug, wo Vereinigung eintrat, von Scharung gesprochen. Ich möchte im Gegenteil den rechtwinklig geknickten Verlauf der Hauptketten betonen und jene Bogenformen und Scharungen für nebensächlich und nur durch das Vorrücken der Faltung gegen außen verursacht halten (vgl. HORN, Geol. Rundsch. V, und LOZINSKI, ebenda, IX); denn wenn der Druck aus S kam, konnte es ja gar nicht anders sein, als daß die nach S vorspringenden rechten Winkel sich zu schließen, die nach N gerichteten sich bogenförmig zu öffnen schienen, und zwar umso mehr, in je höhere Lagen die Faltung hinaufstieg. Ich glaube, solche Abstumpfungen oder Zuschärfungen der Winkel lassen sich bei einiger Aufmerksamkeit öfters bemerken, so die Zuschärfung in den vielen Scharungen der ostasiatischen Bögen, und die Abstumpfung z. B. in der von STÜESS betonten, merkwürdigerweise für etwas besonders Charakteristisches gehaltenen, Ablenkung der Brüche und des Gebirgsstreichens des Elbbruchs zu der Brünner Fuge; höchstwahrscheinlich gehört hierher auch der kalabrische Bogen, der den spitzen Winkel zwischen dem nach SO gerichteten Appennin und der ostwest streichenden afrikanischen Linie in Sizilien abstumpft.

Ein anderer Einwand heißt: Die Brüche sind unter sich von ungleichem Alter, die nordöstlich streichenden älter als die nordwestlich streichenden und beide Bruchsysteme wenigstens im allgemeinen viel jünger als unterdevonischen Alters. Darauf wäre zu erwidern, daß gar nicht angezweifelt werden soll, daß viele dieser Brüche erst zur Karbonzeit oder sogar im Tertiär entstanden sind, aber die oben zusammengestellten Momente zielen doch wohl auf einen so nahen genetischen Zusammenhang mit dem kaledonischen Gebirge hin, daß wenigstens die ur-

sprüngliche Anlage der genannten Bruchsysteme auf jene Zeit zurückzudatieren ist. Haben wir doch auch, wie oben erwähnt wurde, einzelne Anzeichen, daß die allgemein für tertiär gehaltenen rheinischen Linien in ihrer Entstehungszeit bis ins Karbon zurückreichen. Übrigens ist ja bekanntlich das Alter der Bruchlinien niemals genau festzustellen: im Grundgebirge weiß man nie, wie jung sie sind, und im Sedimentärgebirge weiß man niemals sicher zu sagen, wie alt sie sind, weil ja bekanntlich uralte Brüche, die zunächst von Sedimenten ungestört überlagert wurden, infolge tektonischer Bewegungen wieder aufleben, d. h. auch ihre bis dahin ungestört gebliebene Decke zu einem Zerreißen in entsprechenden Linien bringen können. Interessant in dieser Beziehung ist, daß nach LEPSTUS (Geol. von Deutschland II, 2, S. 439 und 451) die Triasdecke im Gebiet zwischen der unzweifelhaft zusammengehörigen nordöstlich streichenden tektonischen Serizitschieferzone des Taunus und der Quarz-Albit-Trümer am Kyffhäuser und Harz ungestört hinwegzieht über die sicher in der Tiefe vorhandene herzynische Linie Kassel—Warburg. Und trotzdem gelten ganz allgemein die herzynischen Brüche, wie besonders ihr relatives Alter im Harz beweise, als jünger als die variskisch streichenden. Auch WUNSTORF (Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 62, Mon.-Ber. S. 415) teilt aber bereits den nordwestlich streichenden Bruchlinien ein sehr hohes, mindestens jungkarbonisches Alter zu.

Mit letzterem Hinweis ist auch wohl ein anderes Gegenargument, das man noch etwa vorbringen könnte, erledigt, nämlich, daß heutzutage die variskischen und herzynisch verlaufenden Gebirgsteile durch jene nordöstlich und nordwestlich streichenden Brüche nicht parallel, sondern merklich schief abgeschnitten werden. Wenn sich Schollen aneinander bewegen, kann z. B. die höherliegende ihre Falten über die tiefere schief hinüberlegen, zumal wenn horizontale Bewegungen an den Bruchlinien mithelfen, weil der eigentliche Druck schief aus Süden kam. Die später wieder auflebende und dann alle die gestörten und ungestörten überlagernden Sedimente durchbrechende Spalte wird dann am stehenbleibenden oder gehobenen Horst die Faltung schief schneiden müssen. Man denke hier etwa auch an PHILIPPIS Diagonalverschiebung (diese Zeitschr., 1894, S. 329). Wir sehen ja die gleiche Erscheinung an der dalmatinischen Küste, an der Coast-Range von Nordamerika, wo die Falten sich etwas schief

gegen das Meer hinausziehen, noch ausgeprägter am Austritt der Appalachen gegen den Atlantik. —

Aus jenem Beherrschtwerden der nachträglichen Faltung durch vorher existierende Bruchsysteme als *loci minoris resistentiae* verstehen wir nun auch, warum die von VAN WERWEKE unterschiedenen zwei Gewölbe am Rheingraben nicht wie die Alpen ostwestlich, sondern variskisch nach NO verlaufen, und warum auch der Rheingraben selbst etwas in diese Richtung, wo die zur Grabenbildung zwar nicht nötige, aber förderliche größte Gewölbespannung herrschte, abgelenkt wurde, worauf O. REIS (a. a. O., S. 253) hingewiesen hat; und es leuchtet ein, warum die den zentralen Alpen nördlich vorgelagerte Vortiefe nach N dreieckig begrenzt ist: Juraabfall bis Regensburg einerseits, Linie Passau-Regensburg andererseits. Die alten Bruchlinien waren eben maßgebend für die Begrenzung des Niederbruchs des vindelischen Gebirges, genau so, wie auch eine gelötete und daher wieder in festen Zusammenhang gebrachte Platte sich nicht in Falten legen lassen würde, ohne zuvor an den alten Schwächstellen zu brechen.

So kommen wir, allerdings nur in gewissem Sinn, auf Ansichten, wie sie seinerzeit LORY (1866), EBRAY und MAGNAN (1874) bewegten. Nicht etwa, daß lokale Senkungen ausschließlich die Ursache der Aufbiegung von Rändern sind, sondern daß infolge eines von weither geleiteten tangentialen Drucks die präexistierenden Spalten nebst den dadurch nach oben oder unten verursachten Stauchungen an ihren Rändern eine Hauptursache, wenn nicht für die Entstehung, so doch für die Orientierung von Faltengebirgen abgeben, ein Gedanke, der sich besonders für das Vorgelände der Kaledoniden sehr leicht aufdrängt.

Belege dafür mögen in folgendem zusammengestellt sein. H. QUIRING (Zeitschr. für prakt. Geol., 1912, S. 70) weist meiner Ansicht nach mit Recht darauf hin, daß die herzynisch streichenden Grenzblätter am Thuner See meist vor der eigentlichen Faltung, niemals nach derselben entstanden sein können, also als präcedente, nicht, wie allerdings viele andere Blätter, als gleichzeitige oder posthume. Nach H. CLOOS (N. Jahrb. Beil.-Bd. 30, S. 211) hat der Baseler Tafeljura zwei Horste und zwei Gräben, alle mit S—N-Streichen. Diese Tafelbrüche sind oligocänen Alters, die Kettenaufstauchung des

Faltenjura erfolgte aber erst im jüngeren Tertiär. Dabei sind auch noch viele Grabenschollen sattelförmig gebaut (nach v. HÜENE, ebenda, S. 215). Allerdings meint CLOOS, daß jene meridionalen Spalten nur mit der Rheintalsenkung zusammenhängen; gegen ihre Zusammenziehung mit der Jurafaltung spreche ihr höheres Alter. Immerhin sind sie präexistierend gewesen und die Graben- und Horstbildung hat sich ihnen angepaßt. E. GRAHMANN (diese Zeitschr. 1918, Mon.-Ber. S. 64) hat erkannt, daß im Jura des Pfirt der größte Teil der Brüche älter ist als die Faltung. Nach BUXTORFF (Ber. Oberrhein. Geol. Verein., 1907) und anderen sind die Jurafalten zwischen den Randbrüchen des Rheingrabens dort, wo das Widerlager des Schwarzwaldes fehlte, etwas gegen die rheinische Tiefebene vorgequollen, also müssen jene Randbrüche schon früher bestanden und bestimmend eingewirkt haben. Es ist hier auch zu erinnern, daß längs der Blattverwerfung, welche im Faltenjura vom Lac du Joux über Hôpitaux nach Pontarlier zieht, kurze von S nach N streichende und dort schwächer werdende Ketten auftreten, von welchen JACCARD im Jahre 1869 im Zweifel blieb, ob sie als selbständige Glieder oder nur als Ablenkungen der westlich von der Störung liegenden Falten anzusehen seien. SUSS (Antl. I, S. 154) möchte für die zweite Deutung eintreten und die inneren Falten des Jura quer auf das Streichen geschleppt ansehen; ich glaube, daß mehr die Selbständigkeit zu betonen ist. Darin bestärkt mich die Bemerkung BLANCKENHORNS (s. das., S. 56 und 57), daß im Gebiet des syrischen Grabens an einigen Stellen vertikale (oder horizontale? Verf.) Bewegung richtige Faltungen hervorgebracht hat, so im nördlichen Libanon und Antilibanon und in den Ketten von Palmyra. Allerdings meint BLANCKENHORN, hier hätten andere, von ihm nicht weiter genannte, Ursachen der Gebirgsbildung mitgewirkt und die Verhältnisse kompliziert. Doch dürfte nicht nötig sein, das anzunehmen; die horizontale Bewegung kann, natürlich vor der eigentlichen Grabenbildung, sehr gut von einer starken seitlichen Pressung begleitet oder gefolgt gewesen sein. In diese Beziehung sind wohl auch andere nordsüdlich streichende Ketten aus dem syrischen Grabengebiet zu bringen, so z. B. das Kurdengebirge, ebenso nach SCHAFFER mehrere Züge von Marmor, hornsteinführende Mergeln und pflanzenführenden Schichten besonders auch am Schloßberg von Siss (SUSS, III, S. 404). Alle diese streichen nach N, während die Ketten des nahegelegenen eigentlichen Taurusgebirges

gleich nördlich von Marasch von O nach W gehen. Ferner sei bezüglich der Abhängigkeit der Faltungen von Brüchen verwiesen auf den Pays de Bray, wo offensichtlich eine, und zwar wahrscheinlich horizontale, Bewegung längs einer Kluft nachträglich einsetzte und eine Aufwölbung zur Folge hatte. Dann schreibt E. ZIMMERMANN (diese Zeitschr., 1914, Mon.-Ber. S. 365), daß im thüringischen Schollengebirge, wo man kaum auf große Entfernungen eine schwache Wölbung erblicken könne, alle Bilder kräftiger Faltung sich auf die bei den Auf- und Abwärtsbewegungen sich quetschenden Ränder beschränkt; daher auch die bei Stadtilm und anderswo aufgepreßten Rücken von „eruptivem“ Röt. Ferner könnte man vielleicht ganz gut den Versuch unternehmen, die eigentümliche Kulissenfaltung in den nördlichen Rocky Mountains auf reibende Bewegung längs präexistierender Längsbrüche zurückzuführen, und die hohen westlichen Ghats in Ostindien mit ihren gegen das Meer gerichteten, steilen Bruchrändern sind möglicherweise auch als ein derartiges Beispiel zu betrachten (Suess, Entst. d. Alp., S. 125). Ich möchte nicht verhehlen, daß ich in diesen Gedanken auch eine Möglichkeit erblicke, den Gegensatz zwischen STILLE und FRECH in der Auffassung der mesozoischen Faltenbildung Nordwestdeutschlands auszugleichen. —

Nun sollen nach E. SUSS (Antl. III, 2, S. 39) diese herzynischen Linien mit den variskischen und rheinischen gemeinsam haben, daß nie eine Spur in das Gebiet der Alpen verfolgt werden konnte.

Für die meridionalen rheinischen Brüche ist diese Anschauung nach meinen obigen Ausführungen wohl unwahrscheinlich geworden. Daß andernteils das rheinische Bruchsystem nach einer kurzen variskischen Ablenkung im Bereiche des nördlichen Kettenjura (E. GRAHMANN, a. a. O. S. 90) in die Rhonetalbrüche seitlich von den Alpen fortsetzt, hat seinerzeit schon v. KOENEN wahrscheinlich gemacht. Auf präexistierende variskische Brüche weisen die seismische Mürzlinie, ferner in Ungarn der Bakonyer Wald. Herzynisch sind der Bodensee—Bonndorfer Graben, der nach DEECKE (diese Zeitschr., 1907, Mon.-Ber. S. 44) bis in die Freiburger Bucht vordringt, und die Blätter am Thuner See. Ferner sind die Spuren variskischer und herzynischer Bruchlinien, auf welchen später ein Hervortreten von Horsten erfolgte, meiner Ansicht nach besonders in den Westalpen noch viel zahlreicher. Nach E. ARGAND (a. a. O.) und A. HEIM (Geol. d. Schweiz, II, S. 6) bilden die autochthonen kristallinen Zentral-

massive der Westalpen vom Aaremassiv und Gotthard über die Aiguilles-Rouges und Montblanc, dann weiter über die Belledonne, Pelvoux zum Mercantour einen bogenförmigen Grundriß, ein „hemicycle“. Wer aber unbefangenen die geologische Karte betrachtet, erkennt unzweifelhaft zwischen Belledonne und Pelvoux einen scharfen rechtwinkligen Knick; von da aus geht die Richtung einesteils bis zum Aaremassiv variskisch, mit nur ganz schwacher Krümmung, andernteils zum Mercantour herzynisch gegen SW. Es wiederholt sich in paralleler Verschiebung und im großen Maßstabe das Bild der Gegend von Wunsiedel im Fichtelgebirge, wo ebenfalls in rechtwinkligem Knicke am Ochsenkopf das erzgebirgische mit dem herzynischen Streichen sich quert, und gerade wie im Fichtelgebirge, so dort am Pelvoux ergab die Kreuzung Gelegenheit zu ergiebigem Aufdringen von Tiefengesteinen.

Auch über die Alpen weithinaus finden sich Linien und Brüche von herzynischem Streichen, die man wohl auf die mitteleuropäischen wird beziehen dürfen. Zunächst der Verlauf des Appennin mit seinen Serpentinmassen und des adriatischen Bruchgebietes, der Dinariden von der dalmatinischen Küste bis hinüber zur Ostküste von Griechenland, wo auf Euböa die Falten durch Nordwestbrüche fast senkrecht abgeschnitten werden, ja man kann dies System von Linien wahrscheinlich verlängern bis zu den Gräben des Roten Meeres und des Wadi Sirhan (vgl. auch DEECKE, Neues Jahrb., 1908, I und WINTERFELD, Neues Jahrb., Beil.-Bd. 33, 1912, S. 5, 6, 9).

Freilich erscheint die Erstreckung derartiger Blätter, die zur kaledonischen Faltung gehören sollen, sehr groß, aber das Faltungsgebiet selbst war auch sehr ausgedehnt und darum die Kräfte, die hier tätig waren, jedenfalls sehr intensiv.

Wer übrigens an der großen Ausdehnung Anstoß nimmt, sei erinnert an MARCEL BERTRANDS kühne Konstruktion (Bull. soc. géol. France, 1887, S. 423) einer Brücke von dem armorikanischen Gebirge über den Atlantik hinüber zu den Appalachen, oder mit WINTERFELD an die hunderte von Kilometer langen radialen Streifensysteme auf dem Monde, die doch kaum anders denn als Risse zu deuten sind.

VI. Schluß.

Es wurde in dieser Arbeit ausgegangen von der Existenz eines tangentialen Gewölbedruckes innerhalb der starren Erd-

kruste. Diese Annahme wird freilich in letzter Zeit stark bestritten (Zusammenstellung bei ANDRÉÉ, Bedingungen der Gebirgsbildung 1914). Es wird dagegen geltend gemacht, die äußere Kruste laste viel mehr auf ihrer Unterlage, als daß das Gewölbe sich selber trage; schon die geringe Gesteinsfestigkeit gestatte nicht, auf größere Entfernungen tangential sich fortpflanzenden Druck anzunehmen, und es wird demnach für orogenetische und epirogenetische Vorgänge wesentlich eine Plastizität des magmatischen Untergrundes und als Folge davon Isostasie und Unterströmung herangezogen.

Meine Ausführungen nun dürften doch wohl bezeugen, daß unter jener neuerdings verpönten Annahme eines tangentialen Gewölbedruckes auch ein bisher sehr umstrittenes Problem, die Grabenbildung, sich in befriedigenderer Weise lösen läßt als früher. Und die aus ihr möglichen Konsequenzen sichern bekanntlich umgekehrt wieder einer Arbeitshypothese einen erhöhten Wert zu. Damit soll aber gegen die Mitwirkung von isostatischen und magmatischen Bewegungen in größeren Tiefen gar nichts eingewendet werden; im Gegenteil, sie sind es sicher, welche indirekt zu manchen Krustenbewegungen führen. Schon das säkulare Untertauchen (und Wiederhochkommen?) der europäischen Mittelgebirgsgegenden ist wohl zu einem Teile auf radialwirkende Vorgänge der Tiefe zurückzuführen. Nur werden dann in den höheren Lagen der starren Kruste immer wieder die radialen Bewegungsmomente mehr oder minder in tangentiale sich umsetzen, wenigstens solange man annimmt, daß die starre Kruste rings um den Erdball vollständig geschlossen sei.

Und so werden besonders die meist persistierenden großen Geosynklinalen direkte Wirkung magmatischer Vorgänge und Umsetzungen sein, aber sofort mit ihrem Absinken muß ein Hinströmen gegen die geschwächte Gewölbeartie einsetzen, um den Defekt in der Gewölbspansung wieder auszugleichen. Daher wäre es besser, bei den einseitigen Faltengebirgen von einem Schube der starren Rinde gegen und unter sie zu sprechen, als z. B. in den Alpen von einem Schub S—N, nur weil die oberflächlichen Falten und Decken auf diese Richtung hinzuweisen scheinen.

Wenn nun, wie ich meine, die Brüche der Erdkruste sich über so beträchtlich große Entfernungen fortsetzen können, aber, wie Kaledoniden und Alpen zeigen, doch etwa nur $1\frac{1}{2}$ bis 2 mal soweit, als das Faltengebirge lang ist, so

müssen sie auch entsprechend tief in die Erdkruste eingreifen, und hier soll ihnen wohl, wie A. HEIM ähnlich für die Alpen annimmt, die Plastizität hinderlich sein. Entscheiden kann diese Frage nur das Experiment; die Versuche von FR. ADAMS bezeugen aber, daß wenigstens in 20 km Tiefe von einer Plastizität noch nicht die Rede sein kann. Allerdings kann durch Wärme der Eintritt der Plastizität bedeutend beschleunigt werden (Literatur bei A. HEIM a. a. O., II, S. 119); aber dann müßte die Erscheinung der Umformung durch Plastizität und Dislocationsmetamorphose von größeren Tiefen an allgemein sein. Dem widersprechen aber die Befunde in dem großen Überschiebungsgebiete in Skandinavien. Hier sind hochveränderte Gesteine über normale paläozoische Sedimente überschoben (SUESS, Antl., III, S. 488) und A. G. HÖGBOM (Fennoskandia, Handb. reg. Geol., IV, 3, S. 68).

Das ist doch ein eklatanter Beweis dafür, daß die relative Tieferlagerung und sogar oft die Reibungswärme bei der Überschiebung der fremden Schollen nicht genügen, die Unterlage plastisch zu gestalten. Es ist also kein Grund vorhanden, deswegen, weil innerhalb mächtiger Schubmassen Plastizität nachgewiesen ist, diese Eigenschaft nun auf der ganzen Erdrinde in geringer Tiefe von 30—50 km schon anzunehmen. Trägt doch das Gewölbe durch den tangentialen seitlichen Druck wenigstens bis zu einem gewissen Grade sich selbst, während die Schollen der Überschiebungen, aus dem allgemeinen tangentialen Gewölbedruck herausgerissen, bloß auf ihrer Unterlage lasten.

Und so wird man die lokale Plastizität in oberen Teufen scharf trennen dürfen von der allgemeinen Plastizität der Erde, welche, nach TAMMANN'S Versuchen und Wahrscheinlichkeitsschlüssen, die neuerdings auch seismologisch gestützt werden, erst in etwa 150—300 km Tiefe beginnt. Dann aber dürfte die LOSSENSCHE Friktionswärme doch eine wesentlich wichtigere Rolle spielen, als A. HEIM ihr zuzuteilen geneigt ist.

[Manuskript eingegangen im April 1920.]

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1921

Band/Volume: [73](#)

Autor(en)/Author(s): Weber Maximilian

Artikel/Article: [6. Zum Problem der Grabenbildung. 238-291](#)