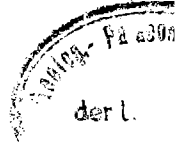


Die Zeitlichkeit der Erdkrustenbewegungen.

Von

Erich Haarmann.



Sonder-Abdruck aus dem N. Jahrbuch f. Mineralogie etc. Bell.-Bd. 71. Abt. B.



STUTTGART 1933

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Erwin Nägele) G. m. b. H.

Die Zeitlichkeit der Erdkrustenbewegungen.

Von

Erich Haarmann.

Mit 1 Textbeilage und 2 Textabbildungen.

Die Zeitlichkeit der Erdkrustenbewegungen.

Von

Erich Haarmann.

Mit 1 Textbeilage und 2 Textabbildungen.

Inhalt¹.

Seite

1. Das geologische Zeitmaß und geologische Zeit-, „Gesetze“	48
2. Gibt es Phasen verschiedenartiger Krustenbewegungen oder Phasen verschiedener Intensität gleicher Bewegungen?	56
a) Das Bonneville-Gebiet — die Heimat der Gegensatzung: Epirogenese und Orogenese	56
b) STILLE's zeitliche Trennung von Epirogenese und Orogenese	66
c) Die Kontinuität von Tektogenese	72
3. Zur handwerklichen Zeitbestimmung von Krustenbewegungen	77
Zusammenfassung	84
Literatur	85

1. Das geologische Zeitmaß und geologische Zeit-, „Gesetze“.

Geologisches Geschehen wird wesentlich von Krustenbewegungen bestimmt. Ihre zeitliche Festlegung ist daher die Grundlage der Erdgeschichte.

Das Zeitmaß ist in der Geologie nicht dasselbe wie in der Physik. Man hat jedoch oft den geologischen und den physikalischen Zeitbegriff gleichgesetzt und dadurch verwirrt. Das physikalische Zeitmaß ist mit dem physikalischen Geschehen verknüpft, das geologische mit dem geologischen.

¹ Mangels Raum wurde das Manuskript gekürzt. — Anregungen und Hinweise gaben die Herren HANS CLOOS, WILHELM HAACK, ALLAN HAARMANN, EDUARD JUSTI, LEONHARD RIEDEL, W. ERICH SCHMIDT, JULIUS SCHUSTER, CURT TEICHERT und RUDOLF WEDEKIND, wofür ich diesen auch hier herzlich danke.

Das physikalische Zeitmaß ist ein Kunstbegriff. Er gründet sich auf der Annahme periodischer Vorgänge, die sich gleichförmig wiederholen. Selbst wenn der Sternentag, von dem die Zeiteinheit ein Bruchteil ist, sich schon in Jahrhunderten merklich ändern sollte, so bedeutet das nichts für das schnell verlaufende physikalische Geschehen, etwa für das Experiment, von dem physikalische Gesetze abgeleitet werden. Zudem gelingen vielleicht die Bemühungen der Physiker, sich von der Erdumdrehung als Zeiteinheit unabhängig zu machen und dem Zeitmaß gleichmäßigere periodische Bewegungen (des Quarzes) zugrunde zu legen. Ohne auf die Diskussion der Physiker über Kausalität und Statistik einzugehen, können wir im Rahmen dieser Betrachtungen sagen: Physik ist „exakte“ Wissenschaft.

Geologie dagegen ist wesentlich historische Wissenschaft. Sie beschäftigt sich außer mit Aufhellung kausaler Zusammenhänge mit historischem, das heißt einmaligem Geschehen. Diese Vorgänge kennen wir aus Erfahrung, nicht a priori, so daß wir sie vorher nicht berechnen und voraussagen können, wie etwa die Astronomie astronomische Ereignisse. Wir können also auch keine Gesetzmäßigkeiten feststellen. Nie wird es einen Galiläi der Tektogenese geben, der voraussagt, wann, wo und wie Tektogenese vor sich gehen wird.

Physikalische Zeitgesetze gelten, wie physikalische Gesetze überhaupt, nur unter bestimmten, künstlich geschaffenen Bedingungen, bei denen Zufälligkeiten ausgeschaltet werden. Man variiert nur diejenige Größe, deren Abhängigkeiten man bestimmen will. Treten mehrere Veränderliche auf, so kann man die Zusammenhänge nicht mehr übersehen und erfassen und das um so weniger, je mehr Veränderliche auftreten. Die Fallgesetze gelten für eine bestimmte Versuchsanordnung. Sie gelten zwar auch für die Geschosßbahn, jedoch treten dabei so viele Veränderliche auf, daß man die Geschosßbahn nicht berechnen kann. Da ist die komplizierte Abhängigkeit der Geschosßgeschwindigkeit vom Widerstand der ruhenden Luft, der Einfluß des Windes, der Einfluß der Erdrotation, der geographischen Breite. Dazu der Einfluß der Pulverladung nach Menge und Zusam-

mensetzung, der Zündgeschwindigkeit, der Einfluß des Dralls und der Laufschwingungen, welche die Geschoßbahn so stark beeinflussen und die ihrerseits von geringen und oft unkontrollierbaren Drucken auf den Lauf abhängig sind (z. B. wird die Treffpunktlage eines Büchsengeschosses geändert durch Hinzufügen oder Wegnehmen einer Kammerwarze oder durch das geringste Verziehen des Vorderschafts dort, wo er am Lauf anliegt, oder dadurch, daß man Konsistenzfett zwischen Lauf und Vorderschaft schmiert. Diese Einwirkungen können wir nicht berechnen; man verringert sie durch technische Maßnahmen und findet sich mit ihnen ab durch öfteres Neueinschießen). Noch nicht gerechnet sind die magnetischen und elektrischen Verhältnisse, die Luftfeuchtigkeit, Wärme und vieles andere mehr. Man muß ebensoviel Beobachtungstücke wie Variable haben. Die Variablen können wir aber weder zuverlässig vollständig erfassen, noch ihre Beziehungen untereinander übersehen. Dazu reicht unser Kopf nicht aus.

Physikalische Gesetze, in denen die Zeit vorkommt, also alle mit Ausnahme der thermodynamischen, könnte man nur dann auf Bewegungen der Erdkruste übertragen, wenn man das Material der Erde für den Versuch zurechtmachen, alle Bedingungen wie im Laboratorium künstlich konstant halten und damit Zufälle ausschalten könnte. Das ist unmöglich.

Wenn man auch nicht zweifelt, daß die physikalischen Gesetze immer und sowohl im kleinen wie im großen gelten, so werden doch die an sich einfachen kausalen Zusammenhänge bei der Variabilität aller Versuchsbedingungen derart verwickelt und unübersichtlich, daß wir praktisch keine physikogeologischen Gesetze, besonders keine Zeitgesetze aufstellen können.

Vielleicht glaubt man, geologisches Geschehen könne man — wenn auch nicht absolut, so doch relativ — etwa ebenso genau messen wie physikalisches, das heißt etwa mit Fehlern, deren Größe sich zu denen des physikalischen Experiments wie die Zeiten geologischen und physikalischen Geschehens verhalten. Das trifft nicht zu.

Das absolute Alter geologischen Geschehens versucht man mit der Helium- und mit der Bleimethode zu messen (GEHRCKE's Patinamethode kann hier außer Betracht bleiben), aber abgesehen von der Verschiedenheit der Ergebnisse beider Methoden, haben ihre Angaben so weiten Spielraum — also eine so

geringe Trennschärfe —, daß man geologische Ereignisse, deren relatives Alter wir nicht schon kennen, zeitlich nicht genau genug erfassen kann, um ihr Altersverhältnis anzugeben. Dazu kommt, daß man das relative Alter der zeitlich bestimmten Bleierze selten sicher kennt und man also andere geologische Ereignisse nicht sicher in zeitliche Beziehung zum Alter der Bleierze bringen kann.

Das relative Alter geologischen Geschehens können wir bei entsprechenden Aufschlüssen an einer Stelle, also in vertikaler Richtung feststellen, kaum oder selten aber, sobald wir uns von dieser Stelle entfernen. In wagrechter Richtung können wir nur in der Nähe und bei guten Aufschlüssen, nicht aber sonst sicher schließen, sondern nur vermuten und das ist deshalb so wichtig, weil wir an einer Stelle immer nur teilweise aufgeschlossene und nur lückenhafte Zeitdokumente haben.

Wir können also geologisches Geschehen zeitlich relativ nicht so weit einengen wie physikalisches: es ist nicht möglich, geologisches Geschehen mit einem entsprechend genauen Zeitmaß zu messen. Auch wenn wir mit allen verfügbaren Mitteln und Methoden Ereignisse — etwa Sedimentation in verschiedenen Gebieten — als „geologisch gleichzeitig“ ansehen müssen, mögen so viele Jahrtausende zwischen ihnen liegen, daß andere Ereignisse — etwa Krustenbewegungen — nicht als gleichzeitig oder ungleichzeitig bestimmt werden können. Die besten geologisch gleichzeitigen Zeitmarken können also nicht nur physikalisch ungleichzeitig sein, sondern sie brauchen sich auch nicht zu entsprechen, wenn man die unendlich kleinen Änderungen der physikalischen Zeiteinheit in geologische Maßstäbe transponiert. Es kann das physikalische und das geologische Zeitmaß weder gleichgesetzt noch verglichen werden.

Die mit geologischem Geschehen verknüpfte Zeit kann vielleicht mit der verglichen werden, die mit dem individuellen und überindividuellen Wachsen verbunden ist, worüber uns phänologische Beobachtungen belehren. Als Zeitmarken im Leben der Pflanze könnte man annehmen: das Platzen des keimenden Samens, das Aufgehen der Knospe, das Abfallen der Blüte, die Reife der Frucht. Alles das geschieht bei verschiedenen Artindividuen nicht physikalisch gleichzeitig, wohl aber zur selben „Jahreszeit“. Dieser Begriff „Jahreszeit“ ist kein physikalischer Zeitbegriff, sondern ist verbunden mit dem Naturgeschehen, dessen Ablauf wir niemals soweit beeinflussen und dessen Zufälle wir nicht soweit ausschalten können wie beim

physikalischen Experiment. So blüht ein Pflanzenindividuum jedes Jahr zwar zur selben Jahreszeit, nicht aber zur selben Zeit des Jahres. Nach der Entwicklung des Pflanzenlebens hat man daher auch phänologische Jahreszeiten abgegrenzt, die für gewisse Gebiete gleich sind.

Den biologischen Verhältnissen entsprechend treten auch die verschiedenen Ausdrucksformen von Bodenunruhe nicht einzeln und zusammenhanglos, sondern immer wieder gruppenweise auf. Nicht physikalisch, aber geologisch gleichzeitig, in Scharen, geschehen überall auf der Welt: Erdbeben, Vulkanausbrüche, Auftauchen und Versinken von Inseln und Küstenteilen, Erdbeben und Gesteinsabbrüche, Einstürze von Bauten, Höhlen, Gruben, Gasausbrüche (Schlagwetter, Kohlensäure, Stickstoff, Erdgas) mit ihren zufälligen, oft katastrophalen Folgen für den Bergmann, Leckwerden von Gas- und Wasserleitungen oder -behältern, von Staudämmen und Deichen. Gewiß sind diese Bewegungen durch verschiedene Ursachen oft lange vorbereitet und mögen durch eben diese Ursachen gelegentlich auch „außer der Zeit“ ausgelöst werden — das ändert doch nichts daran, daß sich alle in gewissen Zeiten häufen. Durch langsame Bewegungen kommen an vielen Stellen der Erde Krustenteile in latentes Gleichgewicht. Wie bei dem gestochenen Abzug einer Büchse genügt dann der kleinste Anstoß, den letzten Rest bremsender Reibung zu überwinden: „die Lawine geht zu Tal“ — die Kruste setzt sich. Wenn der Erdkörper nur etwas mehr vibriert, wird so eine ganze Reihe von Bewegungen in verschiedenen Gegenden der Erde ausgelöst.

Es wäre Aufgabe einer „Phänologie der Krustenbewegungen“, diese Verhältnisse und ihre Zusammenhänge systematisch zu erfassen und auszuwerten.

Zunächst müssen wir uns also damit abfinden, daß die geologische Zeit auch nicht in vergrößerter Projektion der physikalischen entspricht. Das besagt nicht, daß man sich nicht weiter bemühen solle, geologisches Geschehen absolut, wenn auch mit Fehlern geologischen Ausmaßes zu messen. Zunächst ist es jedoch wichtig, das relative Alter der Ereignisse festzustellen, wobei wir uns vor allem davor hüten müssen, sie nach vorgefaßten Meinungen zeitlich innerhalb der weiten Spielräume zurechtzuschieben, in denen sie bei unsern heutigen Kenntnissen liegen können. Die geologische Zeit muß sich — soweit das praktisch möglich ist — auf die

Bewegungen der Erdkruste gründen, weil von diesen die Bildung fast aller geologischen Dokumente wesentlich abhängt. Wir müssen uns dabei möglichst auf die primären Bewegungen stützen, weil bei diesen die absoluten Zeitunterschiede — was wir doch anstreben wollen — relativ am geringsten sind.

Man muß also, um den geologischen Zeitbegriff festzulegen, sich in den Grundfragen über die Krustenbewegungen — wenn auch vielleicht nur vorläufig — entscheiden. Verursacht ein von vielen aus der Zusammenziehung der Erdkruste abgeleiteter „tektonischer Horizontaldruck“ die Primärbewegung der Erdkruste, so müssen wir seine vermuteten Wirkungen: Faltung, flache Überschiebung, Decken, der geologischen Zeitmessung zugrunde legen. Dasselbe gilt für Horizontalbewegungen, die mit Unterströmungen friktionsgekuppelt sind, und für Kontinentalverschiebungen, wenn solche Bewegungen gesichert sind. Sind, wie ich annehme, die Oszillationen des Krustenmosaiks die Primärtektogenese, so sind diese, weniger ihre sekundärtektogenetischen Folgen, als geologische Zeitmarken zu verwenden. Die Oszillationen äußern sich deutlich in den Sedimenten und den paläogeographischen Verhältnissen, die somit für die geologische Zeitrechnung grundlegend sind.

Sedimente erweisen oft durch ihre durchgehend oberflächennahe Fazies die mit ihrer Ablagerung gleichzeitige Senkung des Sedimentariums. Die abgelagerten Schichten bilden die Formationen, die meist durch Umkehr der Oszillationen und die dadurch verursachte Unterbrechung der Ablagerung begrenzt werden. Die Formationen und ihre Grenzen bilden daher mit Recht unsere grundlegenden Zeitmarken, wenngleich wir daran denken müssen, daß Abtragung und Ablagerung (Sedimentation) auch nach primärtektogenetischen Ereignissen fortsetzt und ihre relative Zeitlichkeit besonders geprüft werden muß. Darüber kann die Fazies Auskunft geben. Als Zeitmarken geeignet sind sodann die gleichzeitigen Äußerungen der Oszillationen: Volltroggleitung, Diskordanzen, Schichtlücken, Transgressionen und Regressionen, Vulkanismus und Gebirgsbildung (Orogenese in meinem Sinne), wie ich dies früher [1926] dargelegt und teilweise unten näher behandeln werde. Nur teilweise gleichzeitig und daher ebenso wie Sedimentation nur bedingt und nach besonderer Prüfung als Zeitmarken geeignet ist Freigleitung in allen ihren Formen.

Es ist bemerkenswert, daß gerade die Sedimente, deren Bildung so oft die Oszillationen begleitet, und die Formationsgrenzen, die mindestens dort, wo sie zuerst angenommen wurden, als Diskordanzen und Schichtlücken immer unmittelbare Oszillationsäußerungen sind — vielleicht indem man die Zusammenhänge mit sicherer Intuition richtig erfaßte —, s e i t j e h e r Marken der geologischen Zeitrechnung gewesen sind. Würden wirklich die vermuteten Äußerungen des von den Anhängern der Kontraktionstheorie angenommenen Horizontaldrucks die Primärtektogenese ausmachen, so müßten diese, also die wesentlich horizontalen Störungen in der Kruste (liegende Falten, Überschiebungen, Decken) grundlegend für die geologische Zeitbestimmung sein. Das ist jedoch niemals angenommen worden, vielmehr bemüht man sich umgekehrt, an den durch Oszillationen gegebenen Zeitmarken die Zeitlichkeit der Faltungen, also der kontraktionistischen Primärtektogenese, festzustellen. In diesem Zusammenhang sind auch PIA's Überlegungen [1930, 77 unten] interessant.

Ich weiß, daß die Anhänger der Kontraktionstheorie auch die Oszillationen, also ihre epirogenetischen Bewegungen, als „Großfalten“ durch Tangentialdruck erklären möchten und damit ebenfalls dazu kommen würden, sie als Primärtektogenese und zur Zeitbestimmung geeignet anzusehen. Noch ist aber meine Frage nicht beantwortet, wie denn durch fortwirkenden Tangentialdruck das zu beobachtende ständige Aufundab ein und derselben Krustenschollen oder das Weiterrollen der Krustenwogen zustande kommen könnte — ganz abgesehen von den vielen andern Gründen, welche es verbieten, Oszillationen durch Horizontaldruck zu erklären.

Aus meinen Darlegungen dürfte schon hervorgehen, daß der Fossilinhalt der Schichten zur geologischen Zeitbestimmung nur bedingt geeignet ist. Oszillationen ändern den Abstand zwischen Erd- und Wasseroberfläche in einzelnen Gebieten und veranlassen dadurch nicht nur Regressionen und Transgressionen, Schichtlücken und Diskordanzen, sondern beeinflussen auch die Faziesverhältnisse und damit die Lebensbedingungen für Tiere und Pflanzen, ihre „Änderungen“, ihr „Aussterben“, ihr „Auftreten“. Was aber in einem Gebiet nicht mehr leben kann, lebt vielleicht woanders weiter, vielleicht lange Zeit, und wenn auch im beschränkten Gebiet die Lebewesen in den aufeinanderfolgenden Schichten durch Faziesänderungen und Schichtlücken deutlich und oft genug ruckweise

geändert werden, so dürfen wir diese Entwicklungsstufen nicht für größere Gebiete, geschweige denn für die ganze Erde annehmen und sie ohne weiters mit den großen Stufen organischer Entwicklung gleichsetzen. Diese waren vielleicht immer allmähliche Übergänge und nie oder selten plötzliche Schnitte. Wenngleich sie gelegentlich mit tektogenetischen Intensitätsperioden zusammenfallen mögen, so fehlen uns doch vorläufig hierfür die Beweise. Tektogenese beeinflußt also örtlich die Lebensbedingungen der Organismen, langfristig wohl auch ihre Entwicklung, nicht aber geologisch gleichzeitig diese organische Entwicklung. Möglich, daß biostratigraphische Methoden uns helfen werden, die organische Entwicklung und ihre geologische Zeitlichkeit besser kennenzulernen als die „Leitfossilien-Stratigraphie“ (O. SEITZ). Die geologischen Zeitmarken werden aber immer von der Primärtektogenese gegeben werden. Diese Überlegungen berühren natürlich nicht die Verwendbarkeit der Fossilien zur Feststellung des relativen Alters von Schichten und damit von Krustenbewegungen in beschränkten Gebieten, während sich, wie gesagt, Krustenbewegungen in größeren Gebieten oder auf der ganzen Erde nicht durch Fossilien synchronisieren lassen. Dort können sie nur für eine zeitliche Groborientierung dienen. Immer sollte man sich dann ihres nur bedingten Werts für die Zeitbestimmung bewußt bleiben.

Hier ist nicht Raum für eine eingehendere Behandlung dieses wichtigen Problems und ich kann nur noch auf einige Arbeiten hinweisen, ohne damit die Literatur vollständig verzeichnen zu wollen: SEMPER [1908 und 1914], ULRICH [1911] (hierzu siehe auch HAHN [1912]), WEDEKIND [1916 und 1918], SEITZ [in SEITZ & GOTHAN 1928, S. 15], BERRY [1929], PIA [1930], v. BUBNOFF [1931, S. 108 bis 246], SEITZ [1931a und b], SPATH [1931].

Voraussetzung für die Zeitbestimmung geologischer Ereignisse ist also Klärung des geologischen Zeitmaßes. Unbekümmert um dieses werden aber Gesetze über die Zeitlichkeit von Krustenbewegungen aufgestellt. Daß man versucht, Gesetze, besonders auch Zeitgesetze, nach Art der physikalischen in das geologische Geschehen einzuführen, kann man an sich verstehen. Denn für einen Wissenschaftler, der mit den physikalischen Begriffen des exakten Forschers aufgewachsen ist, mag es verführerisch sein, nun auch die physikalische Zeitmessung mutatis mutandis auf die geologische

Entwicklung anzuwenden, zumal ihre zeitliche Festlegung schwierig ist. Dabei wird leicht übersehen, daß sich das geologische Zeitmaß nicht mit dem physikalischen deckt und daß die örtlichen Zu-fallsverhältnisse nicht zureichend bei den Gesetzen berücksichtigt werden können. Die Aufstellung geologischer Ge-setze nach Art der physikalischen ist daher, wie ich klargemacht zu haben hoffe, unmöglich.

Ich wiederhole: geologisches Geschehen können wir mit dem physikalischen Zeitmaß überhaupt nicht messen, aber auch mit geologischer Zeitrechnung vorläufig nur ungenau erfassen. Am besten eignen sich dafür nach wie vor die durch Oszillationen bedingten Formationsgrenzen. Wenn wir nun Krustenbewegungen, die nach dieser Zeitrechnung nicht genau geologisch gleichzeitig sind, auf eine enge Zeitphase zusammenschieben und diese Zeitphase mit einem besonderen Namen belegen, so datieren wir ohne Not die Be-wegungen ungenauer als möglich und lassen eine längere und un-scharf begrenzte Bewegungszeit einheitlich und kurz erscheinen. Es ist so, als wollte man Ereignisse, deren Zeitlichkeit man mit der Stundenrechnung angeben kann, unter der Bezeichnung „Vormit-tag“ synchronisieren, womit man bei uns den Morgen bis etwa 13 Uhr, in Schweden dagegen die Zeit von etwa 11—15 Uhr meint.

Ich lehne es daher ab, Bewegungsphasen der Erdkruste mit be-sonderen Namen zu belegen, wenn damit bestimmte, engbegrenzte Bewegungszeiten bezeichnet werden sollen. Sprechen wir von den kaledonischen, variscischen, alpinen Krustenbewegungen, so wissen wir, daß es sich um große Zeitalter besonderer Bewegungsintensität handelt, die zeitlich durch die von Oszillationen abhängigen Ab-lagerungszeiten der Formationen bestimmt werden. Die Einzel-ereignisse bezeichnen wir am genauesten nach dem geologischen Zifferblatt, auf das wir vorläufig an-gewiesen sind: nach den Formationen.

2. Gibt es Phasen verschiedenartiger Krusten-bewegungen oder Phasen verschiedener Intensi-tät gleicher Bewegungen?

a) Das Bonneville-Gebiet — die Heimat der Gegensatzung: Epirogenese und Orogenese.

STILLE hat verschiedenartige Krustenbewegungen zeitlich ge-trennt [vgl. zu dieser Unterscheidung PLA 1930, 75 letzter Abs. f.]:

Die epirogenetischen, die lange währen und bei denen die Erdrinde unter Erhaltung ihrer Struktur weitspannig und bruchlos verbogen wird, und

die orogenetischen, die schnell verlaufen und die Kruste stören.

Da STILLE diese Unterscheidung auf GILBERT gründet, so wollen wir die Darlegungen der beiden Autoren vergleichen. Zunächst berichte ich, welche geologischen Verhältnisse ich aus GILBERT's Beobachtungen ersehe, dann teile ich GILBERT's Deutungen mit und schließlich vergleiche ich seine und STILLE's Auffassung.

Im nordöstlichen Teil des Great Basin liegt der frühere, diluviale Bonneville-See, dessen Gebiet G. K. GILBERT [1890] monographisch beschrieben hat. Die Darstellung läßt überall erkennen, daß GILBERT offenbar sorgfältig und gewissenhaft im einzelnen beobachtet hat. Seine Beobachtungen sind auch durch spätere Untersuchungen bestätigt worden, der Deutung seiner Beobachtungen kann ich jedoch teilweise nicht folgen.

Nach den von GILBERT angegebenen Tatsachen ist das Bonneville-Gebiet ein Musterbeispiel für eine tumorförmige Auftreibung mit dem organisch dazu gehörigen gleichzeitigen Firsteinbruch („Kuppelgraben“). Der Tumor ist in der Achse des Sees leicht verlängert. Soweit die Aufwölbung nach der Bonneville-See-Zeit geschah, wird sie durch die Kurven in Abb. 1 (nach GILBERT's Taf. 50) gezeigt. Die Bonneville-Uferlinie selbst bezeichnet aber schon einen Gewölbeeinbruch, der eine Vor-Bonneville-See-Auftreibung begleitet haben muß. Auch später wurde nach GILBERT's Angaben, wie nicht anders zu erwarten und in analogen Fällen (Schwarzwald—Vogesen-Tumor, Harz, Fennoskandia, Kanadischer Schild, Afrikanisches Grabengebiet und viele andere. Darüber Näheres an anderer Stelle.) zu beobachten ist, gleichzeitig mit der Aufwölbung die Oberkruste gezerrt. Es entstanden hangendtiefer Verwerfungen, also Dehnungsstörungen, die in Abb. 1 (wie auf GILBERT's Taf. 45) „unvollständig“ dargestellt sind. Sie wurden nämlich nur gelegentlich, nicht systematisch beobachtet [1890, 342]. Bei Abb. 1 kann man sich zur Veranschaulichung dessen, was GILBERT zeigen will, vorstellen, daß die Linien gleicher Hebung an den alten Seeufern und oben auf den hochragenden Gebirgsinseln auf der Oberfläche der kuppelförmigen Aufwölbung liegen, in den ein-

gesunkenen Graben- (d. i. ehemaligen See-) Gebieten aber durch die Luft gehen. Oder man könnte sich denken, daß die Wasseroberfläche des Bonneville-Sees wie die elastische Hülle eines Gummiballons ohne zu zerreißen domförmig zusammen mit der Kruste aufgetrieben worden wäre. Tatsächlich ist die Erdrinde aber bei der Dehnung zerrissen und an Sprüngen sind Teile grabenförmig mit zunehmender Aufwölbung mehr und mehr eingesunken, so daß der See immer mehr eingeengt wurde.

Die meisten dieser Sprünge streichen in der Längserstreckung des Tumors und stehen, soweit festzustellen ist, steil. Im allgemeinen sind an jedem Sprung eine Reihe verschiedener Bewegungen vor sich gegangen [1890, 356], worauf auch der bemerkenswerte Wechsel der Verwurfsrichtung im Verlauf einiger Verwerfungen hinweist, wie dies Abb. 1 zeigt. Diese verschiedenen Bewegungen können teilweise auf ein Aufundab des Gebiets zurückgehen.

Daß die Sprünge gleichzeitig mit der Aufwölbung entstanden sind und noch heute entstehen, ergibt sich aus GILBERT's Darstellung [1890, 340 ff, 356], nach der die Sedimente während ihrer Ablagerung verworfen worden sind [1890, 353], und zwar sind die Schichten durch ein und dieselbe Verwerfung jeweils um so weniger verworfen, je jünger sie sind [1890, z. B. 343, 346, 347, 348 unten und 349 oben, 349 unten].

Die Sprünge verlaufen (außer in einem vulkanischen Gebiet) am Fuß der Gebirgszüge entlang oder streichen diesen parallel. Alle Verwerfungen fallen nach den Tälern zu ein und werfen die Schichten so, daß die Täler relativ gesunken, die Gebirge relativ gehoben sind [1890, 354, 358].

Danach muß man annehmen, daß die Kruste schon in einem frühen Stadium der Auftreibung verworfen und differentiell gehoben wurde, womit man auch nach den Tumorexperimenten von H. CLOOS rechnen muß. Es bildete sich, wie bei Auftreibungen so oft (z. B. Oberrheintal im Schwarzwald—Vogesen-Tumor, Bottnischer Golf, Finnischer Golf, Ostsee usw. auf Fennoskandia, Längsgraben auf dem Harztumor) ein Kuppelgraben, der durch die Bonneville-Uferlinie abgezeichnet wurde. Gleichzeitig mit weiterer Auftreibung des Gebiets bildeten sich Zwischenuferlinien und weiter unten die Provo-Uferlinie, die eine kleinere Fläche umzieht; sie ist in Abb. 1 nach GILBERT's Taf. 13 eingezeichnet. Heute ist der größte Teil des Seegebiets trocken und nur noch der Große

Salzsee geblieben. Da es an den Sprüngen rezente Bewegungen gibt [1890, z. B. 342, 343, 346f, 349, 351, 356: „The freshness of some of the scarps points to an antiquity measured in years rather than in centuries“] und auch die Gebirge sich rezent gehoben haben [1890, 360] und sich wahrscheinlich noch heute heben, so setzt sich die gleichzeitige Aufwölbung und die Grabeneinsenkung an Dehnungsverwerfungen bis heute fort.

GILBERT sah in dem zerborstenen Bonneville-Dom einmal die Kuppel, die er sich wie in Abb. 1 nach verhältnismäßig wenigen Messungen auf der Ostseite theoretisch ergänzte, eine lokale, flache Aufwölbung. Sodann erkannte GILBERT die Verwerfungen, die offenbar mit der Entstehung der Gebirgszüge zusammenhängen, weil sie an ihrem Fuß entlang laufen und an ihnen immer das Gebirge gehoben, das Tal gesunken ist. „Die Krustenstörungen, welche Gebirgszüge hervorbringen, nennt man orogenetisch“ („orogenic“), sagt GILBERT [1890, 340]. Und deshalb machen nach ihm die Sprünge im Bonneville-Gebiet die Orogenese aus. „Für die breiteren Störungen, die Kontinente und Plateaus, Ozeane und Kontinentalbecken hervorbringen, hat unsere Sprache keine so gut passende Bezeichnung“ („no term of equal convenience“). Da er nun im Bonneville-Gebiet zwischen den orogenetischen „engern geographischen Wellen“ (die Sperrungen in meinen GILBERT-Zitaten sind von mir. H.) und den „breitern Schwellen“ einen Gegensatz sieht, so schlägt er vor, diese breiteren Bewegungen „epirogenetisch“ („epirogenic“) zu nennen. GILBERT [1890, 373] spricht nun aber nicht nur von „the disappearance of the lake and the epirogenic rise of the center of its basin“, wodurch jene „dome-like figure of deformation“ [GILBERT's Taf. 50] entstanden ist, sondern er sagt auch [1890, 340]: „the concavity of the Bonneville Basin, whereby it is constituted an area of interior drainage, is epirogenic“. Also: sowohl die domartige Auftreibung des Gebiets als auch die gleichzeitige Einsenkung des Bonneville-Beckens bezeichnet GILBERT als epirogenetisch, die zwischen diesen beiden Bewegungen vermittelnden und nur durch sie existierenden Sprünge als orogenetisch. Daraus geht nicht nur hervor, daß GILBERT's epirogenetische und orogenetische Bewegungen auf Grund seiner eigenen Angaben gleichzeitig, sondern auch daß sie gleichartig sind und daher von ihm gar nicht unterschieden werden durften. Offenbar ist GILBERT nur durch die, oberflächlich betrachtet, gegen-

sätzliche morphologische Auswirkung der scheinbar verschiedenen Bewegungsarten darauf gekommen, sie gegenüberzustellen: die domförmige Auftreibung und die mit der Seetal-Einsenkung verbundene Zerspaltung der Oberfläche. Daß beide, wie beim Aufgehen von Brot, genetisch zusammengehören, darauf kam er nicht. Also selbst als morphologische Unterscheidung, wie es GILBERT wollte [1890, 340], kann man sie nicht annehmen, denn die „orogenetischen“ Sprünge bestehen wie gesagt nur dank „epirogenetischen“ Bewegungen, durch welche sowohl die Gebirge gehoben als auch die Seetäler im Vergleich zu den Höhen eingesenkt worden sind.

GILBERT hat freilich die Zusammengehörigkeit seiner „Epirogenese“ und „Orogenese“ nicht ausgeschlossen, im Gegenteil sagt er [1890, 340] ausdrücklich, daß orogenetische und epirogenetische Kräfte und Vorgänge eins sein könnten, nur solange sie nicht bekannt wären, sei es zweckmäßig, sie getrennt zu betrachten. Nirgends sagt GILBERT, die beiden Bewegungsarten seien verschiedenartig, vielmehr betont er, daß sie beide mit der Seegeschichte zusammenhängen [1890, 340]: „Neither process of displacement belongs exclusively to the remote past, but both are associated with the lake history.“ In GILBERT's mächtiger Monographie kommt das Wort Falte nur einmal vor, als er sagt, daß bei der Great-Basin-Orogenese Faltung zwar nicht fehlt, aber keine Rolle spielt [1890, 340]. Von Überschiebungen oder von Seitendruck wird überhaupt nicht gesprochen. Ausdrücklich betont er, daß die Orogenese am Bonneville-See nicht plötzlich, episodisch gewesen sei, wie man nach Erdbeben und ihren Begleiterscheinungen in andern Gegenden wohl schließen könne, sondern „of continuous slow motion“ [1890, 356] — und das ist selbstverständlich, wenn der Verwurf der Schichten ihre „säkulare“ Auftreibung begleitete. „The features of the fault scarps (also den Äußerungen von GILBERT's Orogenese) accord fully with the general theory that the growth of mountains is a gradual process, secular in duration, though catastrophic in detail“ [1890, 356]. GILBERT faßt die epirogenetische Post-Bonneville-Störung, die sich in der domförmigen Deformation der Uferlinien äußert, als die größere der Erscheinungen auf, mit der sich die orogenetischen Dislokationen als örtliche Details und Unregelmäßigkeiten verbinden („combine“). Diese liegen auf den breiteren Undulationen „like ripples on the ocean wave“ [1890, 368].

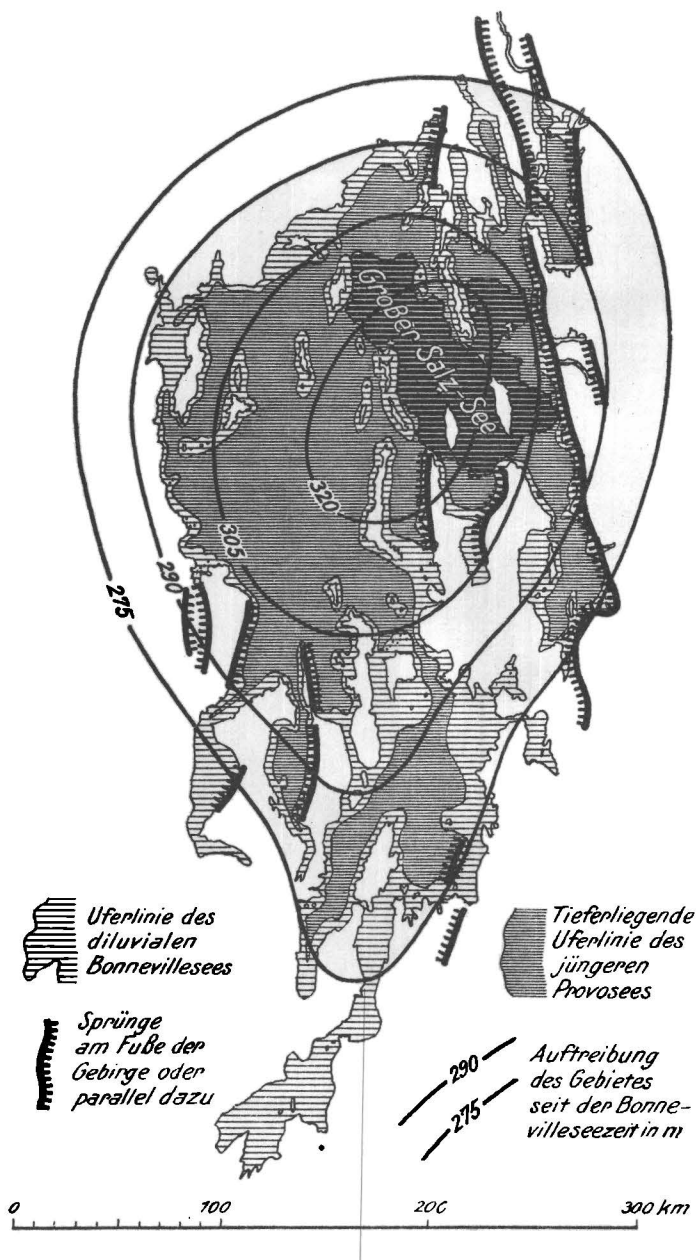


Abb. 1. Domförmige Auftreibung des Bonneville-See-Gebietes seit der Bonneville-See-Zeit. Gleichzeitig mit der Tumorbildung (GILBERT'S „Epirogenese“) senkte sich im Vergleich zur Kuppel der Kuppelgraben (GILBERT'S „Epirogenese“) an Sprüngen (GILBERT'S „Orogenese“) mehr und mehr ein — und damit auch der sich immer mehr verkleinernde See. [Nach GILBERT 1890, Taf. 13, 45 u. 50.]

Bei einer Vorstellung, wie sie GILBERT durch Abb. 1 ausdrückte, war es selbstverständlich, daß er nicht weit wirkende regionale Spannungen oder Kräfte und ebensowenig Horizontalschub für die Krustenbewegungen verantwortlich machen konnte, sondern nur örtliche Ursachen und Vertikalbewegungen, wie er das denn auch bei allen seinen drei Erklärungsversuchen, die er diskutiert [1890, 376], tut. Wenn wir GILBERT auch hierin zustimmen, so doch nicht in der Erklärung selbst. Mit Recht sagt GILBERT [1890, 373], daß das Zusammenfallen höchster Erhebung mit dem Hauptteil des Sees die Vermutung nahelegt, „daß das Verschwinden des Sees und die epirogenetische Erhebung seiner Beckenmitte in der Beziehung von Ursache und Wirkung zueinander stehen“. Das meine auch ich, nur nehme ich den umgekehrten Kausalnexus wie GILBERT an. Dieser glaubt nämlich, daß am Ende der Eiszeit das Seewasser verdunstete und durch diese Entlastung sei die Erdkruste im Bereich des Sees aufgetrieben worden — am höchsten in den tiefen und daher schwerstbelasteten Teilen, weniger hoch in den seichten Randzonen. A. G. HÖGBOM [1924, 194] meint, es sei dies eine „klassische Illustration zur Deformierbarkeit der Erdkruste durch Belastungsveränderung“. Ich selbst habe [1930, 65—69] die Theorie der Onerarisostasie für viel größere Belastungsschwankungen abgelehnt und muß sie erst recht für die hier in Betracht kommende zurückweisen.

GILBERT's Gegenüberstellung der sich morphologisch so verschieden auswirkenden Aufwölbung und der sie begleitenden Zerreißung ist auch von andern Geologen widersprochen worden. A. G. HÖGBOM [1924, 194] bemerkt, „daß nach einigen Forschern diese (nämlich GILBERT's) Darstellung der Erdkrustenbewegungen des Bonneville-Seegebiets nicht als ganz einwandfrei zu betrachten ist, da Spaltenverwerfungen auch dabei mitgespielt zu haben scheinen“.

In USA. hält man GILBERT's Unterscheidung von Epirogenese und Orogenese im allgemeinen lediglich für analytische Hilfsmittel, so etwa CHAMBERLIN & SALISBURY [1909, 537]: „It is to be understood that these distinctions are little more than analytical conveniences, for continental movements are often at the same time mountain-making movements.“ C. K. LEITH [1913] erwähnt in seinem Lehrbuch Epirogenese und Orogenese überhaupt nicht.

ULRICH's stratigraphische Untersuchungen ergeben wichtige Aufschlüsse über Krustenbewegungen und lassen ihn epirogenetische und orogenetische Bewegungen durchaus nicht klar trennen [1920, 68]. PIRSSON [1920, 241] unterscheidet sie „for the sake of convenience“, „according to the results achieved“. Zwischen beiden Bewegungsarten stehen nach PIRSSON die großen Blockhebungen und -senkungen. Keineswegs unterscheidet er sie scharf. LONGWELL, der PIRSSON's Lehrbuch neu herausgegeben hat, sagt [1930, 257] „the terms are useful in discussion“, ohne sie weiter zu berücksichtigen. C. M. NEVIN [1931] erwähnt Epirogenese überhaupt nicht und Orogenese nur im Register mit dem Hinweis: „see Mountains“. Wann schenkt uns ein deutscher Forscher ein nicht dem unfruchtbaren Epirogenese-Orogenese-Dogma versklavtes Lehrbuch?!

Die Amerikaner legen also im allgemeinen GILBERT's Unterscheidung der Krustenbewegungen die ihr gebührende Bedeutung bei [vgl. auch PIA 1930, 73 unten]. Unglücklicherweise hat dieses Phantasma aber — wie man sieht, ohne Schuld der Amerikaner — Europa fürchterlich verwirrt. Zunächst hat HAUG 1900 GILBERT's Unterscheidung aufgenommen und modifiziert, indem er sie nach der Lage zum Hauptstreichen unterschied. Besonders wurde GILBERT's Gegenüberstellung in Deutschland diskutiert, wo ANDREE [1914, 5 f.] und KAYSER [GILBERT mißverstehend: 1923, 207, 307] Vertikalbewegungen „epiogenetisch“ und Horizontalbewegungen „orogenetisch“ nannten, andere Autoren meinten, Epirogenese sei mit Senkung, Orogenese mit Hebung verbunden und wo schließlich STILLE außer einigen implizierten Annahmen angab, daß man Epirogenese und Orogenese zeitlich trennen könne. Schon daß eine Unterscheidung so grundverschieden aufgefaßt und erweitert werden kann, zeigt, wie wertlos sie ist — und das zeigen auch andere Betrachtungen.

Merkwürdigerweise ist nämlich GILBERT's eigene Meinung in Deutschland wenig oder gar nicht bekannt. Das kommt wohl daher, daß GILBERT seine guten Beobachtungen so unklar und unhaltbar gedeutet hat. Es ist nicht leicht herauszufinden, was GILBERT eigentlich meint. Wie er selbst in entscheidenden Punkten nicht übereinstimmend verstanden worden ist, dafür nur ein Beispiel. A. G. HÖGBOM [1924, 194] erwähnt als epirogenetische Bewegung nur die von GILBERT festgestellte „Aufreibung der Erdkruste“,

nicht aber die flachschüsselförmige Einsenkung des Seebeckens. STILLE dagegen [1919, 170 ff., 1924, 10 ff.], der den wesentlichsten Teil seiner Ansichten auf GILBERT basiert und ihn also genau studiert hat, sagt nichts von der domartigen Aufwölbung, der von GILBERT immer wieder auch zeichnerisch veranschaulichten Deformation der Erdkruste im Bonneville-Seegebiet. Vielmehr sagt STILLE: „Zweierlei morphologisch-tektonische Elemente erkannte er im Gebiete des Lake Bonneville und überhaupt des Great Basin, nämlich erstens die weitgespannten Hohlformen, wie das Great Basin, und zweitens die Berggestalten, wie die einzelnen Bergrücken innerhalb des Beckens“ [1924, 10]. „Der Typus des epirogenetischen Gebildes ist die Hohlform des Bonneville-Basins“ [1919, 184] und weiter: „War doch sogar der GILBERT'sche Urtypus eines epirogenen Gebildes, das Gebiet des Lake Bonneville, nicht eine aufsteigende Erdschwelle, sondern ein sinkendes Becken“ [1924, 13. Ähnlich: 1919, 171]. STILLE hat also GILBERT's Darlegungen gar nicht entnommen, daß dieser die domartige Aufwölbung des Seegebiets als epirogenetisch ansah. Auch sonst hat STILLE GILBERT mißverstanden, so wenn er [1924, 12 f.] meint, „daß auch schon bei GILBERT die begriffsbestimmende Grundvorstellung nicht das Vertikale der Bewegungsvorgänge gewesen ist, sondern eben die durch Strandlinienverbiegungen nachweisbaren Veränderungen, die weite Flächenräume betreffen. Überhaupt hat GILBERT ja gerade durch die Untersuchung der jungen Verbiegungen der Terrassen des Lake Bonneville die Vorstellung der Epirogenese gewonnen“. Hier setzt offenbar STILLE die Verbiegungen als vermutete Horizontalbewegungen den Vertikalbewegungen gegenüber — er kann sich gar nicht vorstellen, daß eine flachgewölbte Kuppel anders als durch Seitendruck entstehen kann. An nichts aber kann man sich halten für die Deutung der Vertikalbewegung als Komponente eines allgemeinen Krusten-Zusammenschubs. Angesichts der deutlich vertikalen Bewegung, der gegenüber die horizontale praktisch gleich Null ist, war denn auch bei GILBERT — im Gegensatz dazu, wie STILLE ihn verstanden hat — die begriffsbestimmende Grundvorstellung eben doch „das Vertikale“, wie ich schon oben gesagt habe. Sollte STILLE vielleicht GILBERT so verstanden haben, daß die Strandlinien in ihrer Längs-erstreckung faltig verbogen sind? So scheint es fast, obwohl man

auch dann nur zu einer differentiellen Hebung käme. Unten komme ich nochmals auf die sonderbare Gewohnheit zurück, jede schräggestellte Schicht als durch Seitendruck gefaltet und aufgerichtet zu halten.

Das verhädderte Knäuel der Meinungen und Gedanken über Epirogenese und Orogenese will ich hier nicht entwirren, da uns jetzt die Zeitlichkeit der Krustenbewegungen interessiert. Für die Klärung dieser Frage ist es wichtig, daß STILLE, wie schon eingangs erwähnt, bei seiner Unterscheidung der Krustenbewegungen „von der Urbedeutung der Begriffe Orogenese und Epirogenese ausgeht, wie sie in G. K. GILBERT's Fundamentalwerk festgelegt ist“ [STILLE 1919, 169] und auch später [1924, 11] wiederholt, er habe sich „im wesentlichen gestützt auf GILBERT's Definitionen“. Danach muß man annehmen, daß STILLE im wesentlichen mit GILBERT übereinstimmt. Das ist nicht der Fall. In wichtigen Punkten hat STILLE, wie ich gezeigt habe, GILBERT mißverstanden. Inwieweit STILLE überdies GILBERT's Ansichten geändert und erweitert hat, kann man aus seinen Ausführungen nicht deutlich ersehen. Das muß aber um so mehr geklärt werden, weil STILLE [1919, 180] schreibt: „Gegen die HAUG'sche Unterscheidungsart von Orogenese und Epirogenese habe ich einzuwenden, daß sie

1. die Gesamtheit des Diastrophismus nicht in zwei wirklich scharf und grundsätzlich unterscheidbare Kategorien trennt, und
2. der ursprünglichen Bedeutung der GILBERT'schen Begriffe nicht gerecht wird.“

Zu 1 ist zu sagen, daß auch GILBERT selbst, wie wir gesehen haben, „die Gesamtheit des Diastrophismus nicht in zwei wirklich scharf und grundsätzlich unterscheidbare Kategorien trennt“ und also — wie zu 2 zu bemerken ist — auch STILLE schon, indem er selbst diese Trennung durchführt, aber auch in andern wesentlichen Punkten „der ursprünglichen Bedeutung der GILBERT'schen Begriffe nicht gerecht wird“. Nach STILLE's eigenen Angaben muß man also seine Unterscheidung ablehnen.

Nur in — soweit ich sehe — einem Punkte könnte es zunächst so scheinen, als ob STILLE mit GILBERT übereinstimmt, indem er nämlich angibt, wie dieser steigende und sinkende Epirogenese anzunehmen. Das hat bei beiden Autoren verschiedenen Sinn: GILBERT kennt im selben Gebiet gleichzeitig steigende (dom-

förmige Aufwölbung) und sinkende (schüsselförmige Einsenkung) Epirogenese, während STILLE nach seiner früheren Ansicht zeitlich getrennt sinkende Epirogenese und steigende Orogenese annahm (vgl. F. E. SUSS 1921, 262], später Regressionen und Transgressionen zeitlich trennte. Dafür nahm er zeitlich getrenntes Steigen und Sinken nicht nur der Gebirge, sondern auch der Kontinente an [1924, 363]. Das mußte natürlich begleitet sein von entgegengesetzten Bewegungen des Meeresbodens. Leider muß ich darauf verzichten, STILLE's Ausführungen über den „Kanon der Meeresbewegungen“ zu besprechen und meine abweichenden Ansichten darzulegen und zu begründen. Für oder gegen die Kontraktions- oder eine andere Theorie sind diese Überlegungen übrigens irrelevant.

GILBERT hat seine Unterscheidungen, wie ich dargelegt habe, nur morphologisch gemeint — also, nicht wie STILLE [1919, 173] sagt, „vorgangsartig“, sondern nur „resultatlich“ (= ergebnismäßig). Daraus, daß GILBERT die epirogenetische Aufwölbung orogenerisostatisch erklärt, kann man nicht schließen, daß für ihn neben dem morphologischen Ergebnis „besonders klar hinsichtlich der Epirogenese die ganz bestimmten endogenen Vorgänge“ stehen, „die nach seiner Meinung jene morphologischen Ergebnisse zeitigen“ [STILLE 1919, 175 und 1924, 11]. Durch die „vorgangsartige Definition, wie Gilbert sie wenigstens in dem einen Falle klar ausspricht“ und die ich für den anderen Fall nicht, wie STILLE, aus den gegebenen Beispielen entnehmen kann, werden also von GILBERT nicht „die beiden großen Kategorien tektonischer Vorgänge scharf unterschieden“, wie STILLE [1919, 175 f.] angibt.

GILBERT beschrieb die weitspannige Schichtenverbiegung als örtlich, STILLE nennt sie regional [1919, 175, 191], und so gibt es noch mancherlei Abweichungen, die nicht ohne weiteres zu erkennen sind.

Bewußt und ausdrücklich [1919, 196] weicht STILLE von GILBERT dadurch ab, daß er Epirogenese, die nach ihm strukturerhaltend und säkular ist, zeitlich scharf von der strukturändernden und episodischen Orogenese trennt. STILLE hält sich dazu berechtigt, weil nach seiner Meinung 1890 noch die „E r k e n n t n i s“ fehlte „von dem Beschränktsein der Vorgänge, die für GILBERT die orogenetischen waren, auf bestimmte und von anorogenetischen Zeiten unterbrochene Termine“ [1919, 196]. Eine solche E r k e n n t n i s

ist aber niemals gewonnen worden — es handelt sich lediglich um eine *Annahme* STILLE's, mit der er grundsätzlich von der ausdrücklich betonten Ansicht GILBERT's abweicht, daß auch Orogenese — die Bildung der Gebirge — säkular und, wie aus GILBERT's Darlegungen zu entnehmen ist, gleichzeitig mit Epirogenese vor sich geht.

b) STILLE's zeitliche Trennung von Epirogenese und Orogenese.

STILLE nimmt an, daß in getrennten Zeitabschnitten verschieden geartete Krustenbewegungen vor sich gehen. Seine *Annahme* kleidet STILLE in die Form eines Gesetzes. Will man dessen Tragfähigkeit prüfen, so kann man das nicht dadurch, daß man auf Grund der „Gesetz-Annahme“ Einzelgebiete geologisch untersucht und immer wieder das zu Beweisende mit diesem selbst beweist — daß man also jeden Aufschluß mit der Frage betritt: wo ist hier die Phase? Denn zunächst ist die Frage: gibt es überhaupt zeitlich getrennte Phasen epirogenetischer und Phasen orogenetischer Bewegungen? Zu ihrer Beantwortung muß man zunächst STILLE's *Methode* betrachten.

Das orogenetische Gleichzeitigkeitsgesetz STILLE's lautet: „Alle Gebirgsbildung ist an verhältnismäßig wenige und zeitlich engbegrenzte Phasen von mehr oder weniger erdweiter Bedeutung gebunden. Sie tritt gleichzeitig in den verschiedensten Erdgebieten auf“ [1924, 44 f.]. Diese als Gesetz bezeichnete Annahme bietet STILLE als „Erfahrung“ [1924, 44] dar. „Das orogene Gleichzeitigkeitsgesetz entspricht sozusagen der Gesamtheit der Erfahrungen“ [1924, 362]. Diese Erfahrungen werden jedoch ausgesprochenermaßen erst auf Grund der Prämisse, nämlich „fußend auf dem orogenen Zeitgesetze“ [1924, 48], gemacht. STILLE zieht also einen Zirkelschluß². Dies

² Auch PIA hat dies erkannt [1930, 77]: STILLE „weist die beobachteten Störungen einer Gebirgsbildung zu, die innerhalb des betreffenden Zeitintervalles schon anderweitig belegt ist [STILLE 1924, 48, 49]. Es ist klar, daß dieser Vorgang das ‚Orogene Zeitgesetz‘ schon voraussetzt, wie dies ja auch ausdrücklich angegeben wird. Daraus folgt, daß alle Störungen, die nur auf diesem Weg einer bestimmten Phase zugeschrieben werden können, als Beweise für die Gültigkeit des Gesetzes wegfallen. Das ist aber die Mehrzahl“. Ebenso wenden sich — mit Bezug auf andre Überlegungen — v. STAFF und SCHUH

ist der entscheidende Punkt für die Beurteilung von STILLE's Methode und aller mit ihr gezogenen Schlüsse, besonders also auch des Phasenplans.

STILLE synchronisiert verschiedene Bewegungsarten der Erdkruste in getrennten Zeitphasen, indem er die Beobachtungen in solche wertet, die für seine Annahmen **geeignet** und solche, die für sie **ungeeignet** sind. Er gibt genau an, nach welchen Gesichtspunkten er die Beobachtungen auswählt: es „werden die geeigneten Fälle im allgemeinen die einfachen sein, wie ja auch wieder Einfachheit das hervorstechende Merkmal wahrer wissenschaftlicher Erkenntnis zu sein pflegt. Und es hängt doch vielfach der Erfolg wissenschaftlicher Arbeit schon davon ab, daß es gelingt, die für die Lösung einer Fragestellung einfachen Fälle herauszufinden oder verwickelter liegende Fälle so vom Nebensächlichen zu säubern, daß sie sich einfach darstellen. Was aber in solchen Fällen Haupt- und was Nebensache ist, das lehrt eben der Vergleich recht vieler Fälle. Die an den geeigneten Fällen ermittelten Ergebnisse müssen wir nun aber auch ‚bis zum Beweise des Gegenteiles‘ für jene für die besondere Fragestellung ungeeigneten Sonderfälle gelten lassen. Dieses Verfahren erscheint, allgemein betrachtet, so selbstverständlich, daß Einspruch wohl nicht erhoben werden wird“ [1924. 3]. Ich sehe jedoch keinen Grund, warum wir die für STILLE's Schema geeigneten Ergebnisse auch für die „ungeeigneten“ gelten lassen „müssen“; sein Verfahren ist durchaus nicht selbstverständlich, sondern im Gegenteil abzulehnen.

gegen STILLE's Methode: „Im übrigen zeigen die Ausführungen STILLE's, daß es sich nicht um eine Beweisführung, sondern lediglich um ein Ziehen von Konsequenzen aus seiner noch ungestützten Voraussetzung handelt“ [v. STAFF 1914, 216]. „Der ganze Gedankengang STILLE's ist aber ein *circulus vitiosus*“ [SCHUH 1922, 53]. v. STAFF's weitere Kritik an STILLE's Methode siehe 1914, 214—218. Seine Bemerkungen sind durch STILLE [1919, 172 Anm.] nicht widerlegt worden. Wichtig für die Beurteilung von STILLE's Methode ist auch PIA's [1930, 75 letzter Absatz f] begründeter Hinweis, daß STILLE für die Unterscheidung von Orogenese und Epirogenese „mehrere begrifflich voneinander unabhängige Merkmale verwendet“. PIA's Kritik an STILLE's Methode [1930, 74—80] deckt sich in wichtigen Punkten mit meiner, die ich vor über 8 Jahren bei der ersten Lektüre von STILLE's Buch [1924] geschrieben und nur stilistisch geändert habe. Überdies ergänzt PIA meine Ausführungen, so daß man seine Bemerkungen lesen sollte.

STILLE versucht seine Annahmen zu beweisen, indem er ein „auf den ersten Blick vielleicht überraschendes Verfahren“ wählt, derart nämlich, „daß bei Untersuchungen über Grundfragen der Orogenese die Zeitverhältnisse vorweggenommen und nicht umgekehrt zunächst die Vorgänge selbst und danach die Zeiten ihres Eintretens erörtert werden“ [1924, 40]. „Bis zum Beweis des Gegenteils“ [1924, 3] ordnet er alle zeitlich nicht eingegengten tektogenetischen Ereignisse seinem Phasenplan ein. „Dieses ‚bis zum Beweise des Gegenteiles‘ hat überhaupt seine große Bedeutung bei der vergleichenden Behandlung tektonischer Stoffe.“ STILLE schiebt also die Beweislast für Behauptungen andern zu und arbeitet solange mit Annahmen, bis andre nachweisen, daß sie falsch sind.

„Bei angeblichen Faltungen, die außerhalb der ‚Notorischen‘ sich in vielen Erdgebieten bestätigenden Faltungsphasen eingetreten sein sollen, pflegt die kritische Nachprüfung die Vermutung zu bestätigen, daß hier ungenaue oder irrtümliche Angaben vorliegen oder daß wenigstens das Beweismaterial nicht ausreichend ist. Somit ist von vornherein größte Skepsis gegenüber solchen ‚Outsider-Faltungen‘, die außerhalb der auch sonst erkennbaren Faltungsphasen eingetreten sein sollen, geboten“ [1924, 47].

STILLE glaubt, Orogenese durch Diskordanzen nachweisen zu können [1924, 42]. Treten sie in anderswo konkordanten Schichtreihen auf, so nennt er sie „Pseudodiskordanzen“, liegen sonst diskordante Schichten konkordant, so bezeichnet er das als „Pseudokonkordanz“ [1924, 41 f.]. Aus Pseudodiskordanzen darf man nach STILLE nicht schließen, daß „orogene“ Bewegungen stattfanden oder fehlten.

Wenn von kontinuierlicher Gebirgsbildung gesprochen wird, so liegt das nach STILLE meistens daran, daß man noch immer nicht die Begriffe „Orogenese“ und „Epirogenese“, wie er sie auf Grund seiner Prämisse definiert hat, klar auseinandehält [z. B. 1924, 3 unten, 26, 27, 45, 62 unten]. „Die Erkenntnis des Gebundenseins an ganz bestimmte Termine der Erdgeschichte“, sagt STILLE [1924, 46], „wird sodann durch die offenbar ungenaue Zeitbestimmung der Einzelorogenesen erschwert. Eine Faltung, die zwischen einer Stufe der Formation A und irgendeiner Stufe der Formation C eingetreten ist, wird kurzhin in die Zeit B verlegt, trotzdem sie ebensogut bereits im Ausgange von A oder im Anfange von C

eingetreten sein könnte. Und ist sich der Autor auch der Basis, auf die er die Faltung „zur Zeit B“ begründete, bewußt, so erscheint die Faltungszeit B beim nächsten Literaturzitat schon als gesicherte Tatsache“. Gewiß, solche Unzulässigkeiten kommen vor. Aber ebenso unzulässig ist es, eine „Faltung“ innerhalb eines möglichen Spielraums auf einen bestimmten Termin festzulegen bloß deswegen, weil man woanders Bewegungen zu diesem Termin erkannt hat oder zu haben glaubt. Das ist einzig und allein möglich, wenn man das ja lediglich als Prämisse angenommene Gleichzeitigkeitsgesetz als wahr unterstellt, also die erst zu beweisende Folgerung mit der Prämisse beweist.

STILLE bestimmt nämlich seine Phasen (abgesehen von lückenlosen Diskordanzen, mit denen er Orogenesen zeitlich „unmittelbar“ festlegt [1924, 47 f.]) „fußend auf dem orogenen Zeitgesetze“ „durch Vergleich mit den Verhältnissen in andern Erdgebieten“ auf dem „Weg der ‚mittelbaren‘ Zeitfestlegung“ und teilt „den zunächst nur innerhalb eines größern Zeitintervalls festgelegten Vorgang“ einer anderswo zeitgenau erkennbaren Gebirgsbildung zu [1924, 48]. „Viele Einzelfaltungen sind in den nachfolgenden Ausführungen in eine etwas andere Zeit, wie die Autoren angenommen hatten, versetzt oder innerhalb des von den Autoren angegebenen größeren Intervalles zeitlich genauer präzisiert worden“ [1924, 63]. Eine solche Methode der kleinen Korrekturen ist unrichtig angesichts der zeitlichen Spielräume, mit denen zu rechnen ist [vgl. auch PIA 1930, 77]. Planmäßig aber verfolgt STILLE diesen Weg. Er verfährt dabei „minimalistisch“, „d. h., es werden nur die relativ wenigen sicher belegten und sich immer wieder bestätigenden orogenen Phasen anerkannt, bis die völlige Unmöglichkeit der Einreihung eines orogenen Ergebnisses in irgendeine derselben (nach den eben geschilderten Einreihungsverfahren. H.) erwiesen und damit der unzweideutige Beweis für eine neue Dislokationszeit erbracht ist“ [1924, 49].

Weiter schaltet STILLE eine Reihe von Krustenstörungen als „nicht durch die tektonischen Kräfte der Erd-

rinde hervorgerufen“ aus. Dazu rechnet er vulkanische Störungen und Gravitationsbewegungen. Früher habe ich [1930, 177 f.] mich über die von vielen gemachte Unterscheidung sog. „tektonischer“ und „atektonischer“ Bewegungen geäußert. Im Gegensatz zu mir sieht STILLE seismische Brüche möglichst als atektonisch an. „Mag man nun aber auch in der Zuteilung der Erdbeben zu den atektonischen Kategorien recht weit gehen, so bleibt doch immerhin eine Reihe von jungen Erdbebendislokationen übrig, deren tektonische Natur sich kaum bestreiten läßt“ [1924, 52]. Es gibt jedoch außer Einsturzbeben und dergleichen keine atektonische Beben. Schon vor 36 Jahren sagte LE CONTE [1897, 115] treffend, daß Vulkanismus und Erdbeben, obwohl so auffallend, nichts sind als gelegentliche Ereignisse im allmählichen Ablauf der großen, langsamen Bewegungen, die große Gebiete erfassen.

Intraepirogene Orogenesen bezeichnet STILLE als „synepirogen“, intraorogene Epirogenesen als „synorogen“. Die nach STILLE eigentlich nur orogenen Undulationen nennt er, wenn sie in epirogenen Zeiten auftreten, „Spezialundationen“. Andre Abweichungen erklärt STILLE dadurch, daß neben dem Hauptmotiv von Orogenese auch Nebenmotive auftreten [1924, 243], außerdem erkennt er gelegentliche Ausnahmen an, die aber ebenso wie die eben genannten nicht in den Plan passenden Störungen verkleinert werden [vgl. auch 1924, 386 u. 388]. Auf diese unzulässige Weise trennt STILLE also zeitlich Orogenese und Epirogenese und bereinigt so den Phasenplan.

STILLE wollte sich für seine Arbeiten sauberes Handwerkszeug in Gestalt klar umschriebener Begriffe schaffen [1924, 3 unten] — er wollte augenscheinlich exakt sein wie ein Physiker. Das wird jedoch nicht dadurch erreicht, daß man geologische Gesetze aufstellt, die den physikalischen zwar in der Formulierung, nicht aber dem Inhalt nach entsprechen und auch nicht mit einem künstlichen System, in das die Tatsachen selektiv eingeordnet werden. STILLE nimmt dadurch dem in seinem Buch „niedergelegten beweisenden Material“ die Bedeutung, seine Gesetze und Regeln verlieren ihren Gesetzescharakter dadurch, daß STILLE sie trotz bestimmter Formulierung mit so vielen Vorbehalten und Ausnahmen gibt.

In seinem Buch über „Grundprobleme der Geologie“ [1931, 137—146] gibt v. BUBNOFF einen Abschnitt über „Gebirgsbildung

und Zeitrechnung“, dem er STILLE's „Grundfragen der vergleichenden Tektonik“ zugrunde legt. Im Gegensatz jedoch zu STILLE sind nach v. BUBNOFF in jeder Formation an irgendeiner Stelle der Erde „gebirgsbildende Phasen“ nachzuweisen. Man könnte glauben, dies entspräche der von mir vertretenen Meinung, daß man gebirgsbildende und nichtgebirgsbildende Zeiten überhaupt nicht unterscheiden kann. Denn wenn Gebirgsbildung jederzeit vor sich geht, so gibt es keine „gebirgsbildenden Phasen“. Solche wären zeitlich begrenzt. v. BUBNOFF will aber den episodischen Charakter der Gebirgsbildung retten, nur meint er, die Episoden seien häufiger und im Einzelfall schwächer, als man (lies: STILLE) früher annahm. „Nur ihre Summierung ergibt die großen und auffallenden orogenetischen Prozesse, welche damit von der kontinuierlichen Epirogenese mehr graduell als prinzipiell verschieden sind“ [1931, 141] — eine Auffassung also, die STILLE scharf bekämpft. Wo bleiben aber dann die von STILLE nach v. BUBNOFF [1931, 49] vorzüglich zusammengefaßten Grundgesetze der Orogenese? v. BUBNOFF's Auffassung bedeutet Verwischung der STILLE'schen Phasen. Diese unvermeidliche Folgerung zieht aber v. BUBNOFF nicht. Im Gegenteil: Übergänge zwischen Epirogenese und Orogenese faßt er nicht als solche auf, weil damit „höchstens eine Verwässerung der Begriffsbestimmung erreicht würde“ [1931, 160]. Soll man wirklich die Natur so willkürlich deuten, bloß um nicht Begriffe zu verwässern, die auch vor v. BUBNOFF's Augen schon stark verschwimmen, ja, die ein anderer v. BUBNOFF längst aufgegeben hat? Es ist schwer, v. BUBNOFF's eigentliche Meinung festzustellen. Einerseits erkennt er, ohne daß ich Gründe dafür finden könnte, „die Konzentrierung der Gebirgsbildung auf unruhige Zeiten als unbedingt wahrscheinlich an“, andererseits hält er sich für „verpflichtet, die universale Geltung des orogenetischen Gleichzeitigkeitsgesetzes von STILLE und die prinzipielle Unterscheidung zwischen episodisch und säkular einer kritischen Prüfung zu unterziehen, um mögliche Trugschlüsse zu vermeiden“ [1931, 142]. Nach weiteren Überlegungen sagt v. BUBNOFF [1931, 145]: „Ein schlüssiger Beweis dafür, daß die Orogenesen streng episodisch und weltumspannend auftreten und daher prinzipiell anders zu werten wären als die epirogenen Prozesse, scheint mir daher noch zu fehlen“ und er betont weiter, daß das Phasenschema eine in die Natur hineingesehene Abstraktion ist, die wir „nur mit größter

Vorsicht als Grundlage weiterer Schlüsse über die Gesetzmäßigkeit im Ablauf der Erdgeschichte verwenden können“. Wie verträgt sich das mit v. BUBNOFF'S Annahme, daß die Konzentrierung der Gebirgsbildung auf unruhige Zeiten unbedingt wahrscheinlich sei?

Nach allem sehe ich keinen Grund, anzunehmen, daß die Erdkruste sich in getrennten Zeiten primär- und sekundärtektogenetisch (oder auch „epirogenetisch“ und „orogenetisch“), bewegt hat. Andererseits wissen wir, daß primär- und sekundärtektogenetische Bewegungen oft gleichzeitig sind, und ich nehme, wie ich an anderer Stelle [1930] begründet habe, an, daß Sekundärtektogenese auch in bezug auf ihre Intensität von Primärtektogenese abhängig ist.

Daraus ergibt sich als Antwort auf die Frage der Kapitelüberschrift, daß es zwar Phasen verschiedener Intensität, aber nicht Phasen verschiedener Arten von Krustenbewegungen gibt.

c) Die Kontinuität von Tektogenese.

Die Erdkruste hat sich zu allen geologischen Zeiten bewegt, wie sie es auch heute noch tut³. Wenngleich Teile der zugänglichen Erdkruste mit vorgefaßter Meinung über das Alter der Bewegungen untersucht oder ausgedeutet worden, größere Krustengebiete unerforscht sind und der größte Teil der erhaltenen Bewegungsdokumente unzugänglich in großer Teufe oder unter dem Meere liegt, so zeigt sich doch mehr und mehr, daß sich sogenannte „orogenetische“, also relativ schnelle gebirgsbildende Bewegungen, zeitlich nicht von andersartigen, relativ langsamen, sogenannten „epirogenetischen“ Bewegungen trennen lassen. Vielmehr wird es immer deutlicher, daß die Erdkruste sich jederzeit irgendwo sowohl „epirogenetisch“ als auch „orogenetisch“ bewegt hat.

Bei den folgenden Überlegungen stelle ich mich auf den Standpunkt der Oszillationstheorie. Damit soll und kann natürlich nichts für diese oder gegen eine andere Theorie gesagt werden. Auch von der Kontraktions-, der Unterströmungs- oder der Konti-

³ Für die Kontinuität der Krustenbewegungen verweise ich nur auf einige Arbeiten der umfangreichen Literatur:

GILBERT 1890, 340 ff.; BUCKMAN 1920, 88 ff., 1922, 424; NOWACK 1921, 50 f.; SPOONER 1929, 214—221; HAARMANN 1930, besonders 35 ff., 173 ff.; PIA 1930, 79 f. Siehe auch die Literaturangaben über Junge Krustenbewegungen Anm. S. 75.

mentalverschiebungstheorie aus muß man zeitlichen Intensitätsschwankungen der kontinuierlichen Krustenbewegungen zustimmen, die Unterbringung verschiedenartiger Krustenbewegungen in zeitlich getrennten Phasen jedoch ablehnen.

Nach meiner Auffassung ist Intensivierung der Oszillationen, also der von andern als „epirogenetisch“ abgestempelten Bewegungen, Vorbedingung für starke Durchbewegung der Kruste. In meiner Terminologie heißt das: stärkere Primärtektogenese ist Vorbedingung für intensivere Sekundärtektogenese. Das würde Ähnliches bedeuten, wie wenn ich in der von mir abgelehnten Terminologie sagen würde: heftigere Epirogenese bewirkt verstärkte Orogenese. Damit ist der scharfe Gegensatz herausgestellt, der zwischen meiner Auffassung und derjenigen besteht, nach der die Kruste in getrennten Zeitabschnitten „epirogenetisch“ und „orogenetisch“ sich bewegen soll.

Wenn Krustenteile immer oszillieren, so ist immer Sekundärtektogenese möglich, je nachdem ob gleitfähige und gleitreife Gesteine durch Primärtektogenese für den Zugriff der Schwere reif werden oder nicht. Nehmen wir an, daß die Oszillationen auf Verlagerungen beweglicher Massen in und unter der Kruste zurückgehen, die ein gestörtes Gleichgewicht der Erde wiederherstellen wollen. Dann würde die zeitweise Intensivierung der Primärtektogenese und damit der von dieser abhängigen Sekundärtektogenese von rhythmischen Schwankungen der Störungsintensität oder von besonders störenden Ereignissen verursacht werden. Die Ausgleichsverlagerungen der Erde können aber nicht in kurzen Zeitspannen vor sich gehen. Selbst auf einheitliche Impulse, die das Gleichgewicht der Erde stören und die wir natürlich am liebsten als geologische Zeitmarken nehmen würden, reagieren die beweglichen Massen in oder unter der Kruste in verschiedenen Erdteilen nach Einsatz und Ablauf ihrer Bewegung verschieden: je nach ihrer geographischen Breite, nach ihrer Tiefenlage, ihrer Masse, ihrer Beweglichkeit, nach den Widerständen ihrer Umgebung setzen die Verlagerungen verschiedenzeitlich ein und laufen in verschiedenem Tempo ab. Das ist also die Verschiedenzeitlichkeit von Primärtektogenese, die wir wegen ihrer gegenüber andern Bewegungen geringeren Verschiedenzeitlichkeit der geologischen Zeitrechnung zugrunde legen müssen.

Noch viel verschiedener wird die Zeitlichkeit von Sekundär-

tektogenese, die ein einheitlicher Störungsimpuls primärtektogenetisch vermittelt. Je nach Tempo der Oszillationen, nach Schrägstellung der Schollen, je nach Masse, Beschaffenheit, Gleitfähigkeit der Schollenköpfe, nach Tiefenlage der Gleitzonen und nach andern Faktoren setzt stellenweise Sekundärtektogenese ein und läuft mit örtlich verschiedenen Geschwindigkeiten ab. Es müssen also, trotz einheitlichen Impulses, zeitlich verschiedene Bewegungen entstehen, was sich mit den Beobachtungen deckt. Den örtlich festzustellenden zeitlichen Spielraum tektogenetischer Intensitätsphasen darf man nicht dadurch verwischen, daß man sie willkürlich in „bekannte“ oder „belegte“, zeitlich möglichst eingeeengte Bewegungsphasen versetzt. Und wir dürfen uns die Erkenntnis, daß das Schollenmosaik der Erdkruste mit schwankender Intensität ständig auf und ab wogt, nicht dadurch vernebeln lassen, daß man eines Tages zugibt, wir lebten in einer „orogenetischen“ Zeit — nur um das Phasenprinzip zu retten. Das will zwar BORN [1931, 412; 1932, 431] nicht, wenn er meint, wir lebten in einer „orogenetischen“ Zeit, aber dies ist ebensowenig richtig wie die Meinung, unsre Zeit sei „epirogenetisch“ — weder zeitlich noch auf irgendeine bisher vorgeschlagene „resultatliche“ oder „vorgangsartige“ Weise lassen sich „Epirogenese“ und „Orogenese“ trennen. Diese Unterscheidung von Krustenbewegungen muß man aufgeben.

Die zeitweise Zunahme der Oszillationsintensität erkennen wir im Rahmen meiner Auffassung auch an der Zunahme der durch Primärtektogenese bewirkten Sekundärtektogenese, den zeitlich gehäuften Freileitungen: Freileitfalten, Überschiebungen, Decken, sowie an zeitlich gehäufte Gebirgsbildung (im geographischen Sinn), das heißt dem unmittelbaren Ausdruck von Primärtektogenese. Wir haben kein Anzeichen dafür, daß in Zeiten, die als „orogenetische“ bezeichnet werden, die Oszillationen, also die Hebungen und die Senkungen, irgendwo aufgehört hätten. Außer der angeführten Gebirgsbildung haben wir außerhalb der Gebirgsregionen gleichzeitig Sedimentation, Regression und Transgression, Bewegungen, die nach einem vielfach angenommenen Schema der Krustenbewegungen „epirogenetisch“ sind und als solche in andern Zeiten auftreten sollen. Die Erdkruste bewegt sich somit auch in der heutigen Zeit nicht in anderer Art als früher, wenigstens bis zurück in frühpaläozoische Zeiten. Die Frage nach der relativen Intensität

der heutigen Bewegungen muß dabei offen bleiben, weil wir nicht wissen, wie lange sie im Vergleich zu früher dauern. Wenn wir uns endlich entschlossen, die heutigen Bewegungen unbefangen und nicht eingeordnet in ein formalistisches Bewegungs- und Phasensystem zu betrachten, so würden uns dadurch besondere Beobachtungen und Erkenntnisse ermöglicht werden.

Je länger, desto mehr und desto schneller häufen sich in neuerer Zeit die Beweise für junge und heutige Krustenbewegungen. Das hindert aber nicht, daß man noch immer versucht — bewußt oder unbewußt von Vorurteilen beherrscht —, heutige oder gar quartäre Bewegungen überhaupt als nichttektogenetisch auszusondern und sie frühern, „tektogenetischen“ gegenüberzustellen, nur um die Gegenwart als atektogenetisch, als tektogenetisch ruhig zu retten. Befreit man die Beobachtungen von ihrer Dogmenkruste, so findet man sich durch nichts berechtigt, für die Gegenwart geringere oder andersartige Bewegungen anzunehmen als für irgendeine postarchaische Zeit. Wir können ja die absolute Zeit nicht genau genug messen, welche die Tektogenese gebrauchte. Es ist daher möglich, daß niemals die Kruste sich intensiver als heute bewegte. Es geht auch nicht an, alle heutigen oder jungen Bewegungen „epirogenetisch“ oder — soweit sie sich gar nicht von „orogenetischen“ unterscheiden lassen — „synepirogenetisch“ zu nennen. Und man kann ebensowenig Erdbeben, vulkanische Bewegungen, Erdrutsche und alle ähnlichen Bewegungen, soweit sie nicht etwa auf Auslaugungen oder andern besondern Ursachen beruhen, aus dem Erscheinungskomplex der Krustenbewegungen herauslösen, als etwas Besonderes hinstellen oder bagatellisieren.

Täglich mehren sich die Beobachtungen junger Krustenbewegungen⁴, so daß ALBRECHT PENCK neulich in einer Diskussion scherzend sagen konnte: „Es ist ganz erstaunlich, wie beweglich der Boden Deutschlands in der letzten Zeit geworden ist.“

⁴ Von den zahlreichen Arbeiten, in denen junge Krustenbewegungen nachgewiesen oder angenommen werden, erwähne ich:

RUSSEL 1889, 389; 1895, 25, 30; GILBERT 1890; v. STAFF 1914, 157 ff., 160 f.; GAGEL 1915; BRÜGGEN 1920; NOWACK 1921, 50 f.; 1929 a, 104 f.; 1929 b, 136; BOURCART 1924; WINKLER 1926, 518; CLOOS 1928, 45, 51, 69; KRAUS 1928, 354 ff.; KREBS 1928, 39; ZEUNER 1928; KIRKHAM & JOHNSON 1929; WEISSNER 1929; WILSER 1929; HAARMANN 1930, besonders 35 ff., 46 f., 50, 173 ff.; PIA 1930, 79 f.; LOUIS 1931; WAGNER 1931, 183 ff., 565, 572 f.; RECK 1932; ROETHE 1932, 208 f. (siehe dort weitere Literatur); BERNDT 1933.

Vom Standpunkt der Oszillationstheorie dürfen wir in großen Zügen das Prinzip des Aktualismus auch für Tektogenese anwenden.

Mögen die Kontinente — wenn sie je beweglich waren — im Laufe der Zeit mehr und mehr eingefroren sein, mag Ausmaß und Tempo der Bewegungen sich geändert haben, wir haben doch keinen Grund, auch für die Vorzeit, vielleicht bis in die Frühzeit des Paläozoicums und noch früher, wesentlich andre Vorbedingungen für Tektogenese anzunehmen, als sie heute bestehen. So wie heute wird es — *mutatis mutandis* — auch früher gewesen sein: an vielen Stellen, vielleicht überall, oszilliert die Erdkruste heute, besonders in den Zonen der jungen Faltenpektogene. Ständig wird die Kruste durch die immerwährende Ebbe- und Flutwirkung des Mondes beweglich und bereit erhalten, auf einen stärkeren Bewegungsimpuls zu reagieren. Diesen Bewegungsmechanismus vergleicht A. PETERSEN in einem Brief an mich anschaulich mit einem riesigen Klinkenwerk.

Auf den Kontinenten wachsen noch heute die Gebirge: die Alpen, die Karpathen, der Kaukasus, die Himalajas, die Anden und viele andre. Besonders durch morphologische Arbeiten [z. B. von KEIDEL, NOWACK, ÖSTREICH, PENCK, QUENSEL, RUSSEL, SAWICKI, SÖLCH, v. STAFF, BAILEY WILLIS und vielen andern — vgl. F. E. SUSS 1921, 363—367] ist nachgewiesen worden, daß allgemein die Gebirge nach der Faltung gehoben sind — also nicht nur die alten Gebirge wie etwa das skandinavische Hochgebirge, sondern auch die jungen Kettengebirge. Die Nordalpen bewegen sich wenigstens stellenweise nördlich, und es ist möglich, ja wahrscheinlich, daß in einer Gleitzzone des Untergrunds die Gesteine, sei es faltend, sei es an einer Scherfläche, übereinanderbewegt werden. Die aufsteigenden Gebirge zerspalteten mehr und mehr während ihrer Hebung. Auf den Spalten dringen juvenile Wasser oft bis zutage auf, ihre Mineralien mögen die Zerreißen in der Teufe verheilen. Übertage aber zerfällt die Oberfläche durch die Zerspaltung, oft von Erosion unterstützt. Andre Teile der Erdkruste sinken. An vielen Stellen, besonders in den Gebirgen, wird die Kruste abgetragen, an andern wird sie abgelagert: es bilden sich heutigentags gleichzeitig kontinentale, fluviatile, limnische, brackische, marine Sedimente. Besonders in den Schelfgürteln lagern sich die Schichten ab, die bei sinkendem Sedimen-

torium sehr mächtig werden mögen. Wo beim nachbarlichen Aufundab der Böschungswinkel für gleitfähige Schichten zu groß wird, gehen Gesteine in die Tiefe, mag auch das Tempo recht verschieden sein — vom Gekriech bis zur Lawine. Subaquatische Schichten, noch nicht ganz verfestigt und stark durchwässert, rutschen besonders im Bereich des mindestens an seinen Rändern stark oszillierenden Pazifik oft plötzlich ab und erzeugen am Meeresspiegel riesige, den ganzen Ozean durchlaufende Abgleitwogen. An andern Stellen tauchen die gefalteten und sich vielleicht noch faltenden Sedimentfüllungen der Geodepressionen primärtektogenetisch empor, um zu Faltengebirgen aufzusteigen. Alles das geschieht gleichzeitig, besonders an Stellen lebhafter Bewegung begleitet von Erdbeben und Vulkanismus. Es ist nicht möglich, säkulare Niveauveränderungen von Spaltenbildung und Faltung, also von Zerrung und Kompression — es ist nicht möglich, Vertikal- und Horizontalbewegungen zeitlich zu trennen.

Auch nach diesen Überlegungen muß man die zeitliche Trennung von „Epirogenese“ und „Orogenese“ und das darauf gegründete formale Phasenschema aufgeben.

3. Zur handwerklichen Zeitbestimmung von Krustenbewegungen.

Nicht nur die Voraussetzungen und Überlegungen, nach denen man die Zeit von Krustenbewegungen bestimmt, muß geprüft werden, sondern auch die allgemein übliche handwerkliche Methode, mit der man die Zeitlichkeit bestimmt gearteter Krustenbewegungen nachweisen zu können glaubt. Diese Methode ist von einer Prämisse abhängig, die ich für falsch halte.

Prüft man, wie Bewegungsphasen festgestellt werden, so kann man nicht allein auf die grundlegende Frage nach der Gleichzeitigkeit der Formationen und ihrer Grenzen verweisen, nicht nur weiter die Methoden berücksichtigen, mit denen man Bewegungsphasen einzugrenzen versucht, sie muß sich wie gesagt auch auf das tägliche Handwerkszeug des Geologen erstrecken: auf die Feststellung von Bewegungen durch Winkeldiskordanzen.

Fast allgemein nimmt man an, daß zwischen den zeitlichen Grenzen einer Diskordanzbildung besondere, gegenüber den vorher-

gehenden und folgenden Zeiten grundsätzlich verschiedene Krustenbewegungen vor sich gegangen sind, daß man, um mit STILLE zu sprechen, durch Diskordanzen „Orogenesen“ nachweisen kann [1924, 42]. Dies ist jedoch nur richtig, wenn jede Schrägstellung und jede Faltung von Schichten durch seitlichen Druck hervorgerufen worden ist, wie das mit vielen andern STILLE annimmt. Im Sinne STILLE's und auf ihm fußend meint v. BUBNOFF, geneigte Schichten zwingen dazu, Hebung anzunehmen [1931, 42 unten], „mit STILLE“ bezeichnet er als charakteristische Eigenschaft der Epirogenese, daß „horizontal gelagerte Schichten in einer horizontalen Lage verbleiben“ [1931, 43], „horizontale Gesteinsplatten bleiben horizontal, auch wenn sie gehoben oder gesenkt werden“ [1931, 46]. „Wie wir früher gesehen haben, ist eine Abweichung von horizontaler Lagerung stets eine sekundäre Erscheinung, d. h. der Ausdruck für eine Orogenese, die naturgemäß stets mit einem vermehrten Druck Hand in Hand ging“ [1931, 155]. Mit „wie wir früher gesehen haben“ wird eine — nicht gemachte — Erfahrung bezeichnet, und „naturgemäß“ ersetzt einen Beweis. Auch hält v. BUBNOFF es für eine Tatsache, „daß die Geosynklinale durch Faltung zu einem Hochgebirge wird“ [1931, 202. Über den Zusammenhang zwischen Faltung und Hochgebirgsbildung vgl. HAARMANN 1930, 185 ff.].

In einer für ein breites Publikum bestimmten kritischen Arbeit über geologische Probleme wie in der v. BUBNOFF's [1931, IV] sollte mit besonderer Sorgfalt versucht werden, die problematische Natur von Annahmen und Deutungen hell zu beleuchten, wenn auch niemand dagegen gesichert ist, nicht doch einmal Annahmen und Deutungen für Erkenntnisse zu halten.

Wir kennen vertikale Schrägbewegung von Schollen, sei es auf Tumorflanken, sei es begrenzt von Brüchen, wie in den unter Zerrung entstandenen Monoklinalgebirgen. Deutlich werden sie schon in Fluß-, See- und Meeresterrassen, aber auch sonst sind sie oft nachgewiesen worden, wie etwa durch interessante Untersuchungen J. WEIGELT's und seiner Schüler. Wenn wir annehmen, daß die Entstehung von Schrägschollen nichts mit Seitenschub zu tun hat, so ist es unzulässig, jede schräge Schicht als bei der Schrägstellung „aufgerichtet“, „gehoben“, „gefaltet“ zu bezeichnen und in ihr eine Wirkung von Seitendruck zu sehen. Wenn auch

keine Sprache, am wenigsten die wissenschaftliche, auf Metaphern verzichten kann, so nimmt doch die Gleichsetzung von „Horizontaldruck“, „Faltung“ und „Hebung“ manchmal groteske Formen an. Konnte man doch neulich von einem Krustenteil lesen [Geol. Rundsch. XXII, 319], der unnachgiebig „für spätere Faltungen geworden war, auf die er nur durch Brüche und Hebungen reagierte“. STILLE ist einer der eifrigsten Verfechter der Ansicht, daß Faltung Hebung bewirkt [1924, 236 ff., 242, 252 usw.], was für ihn eine „Tatsache“ [1924, 236] ist. STILLE sagt [1924, 237]: „Faltung bringt Heraushebung“ und sieht den Beweis dafür „in der nach der Faltung einsetzenden Denudation solcher Gesteinsmassen, die sich vor der Faltung unter dem Denudationsbereiche, oft sehr tief unter ihm, befunden hatten“. Aber das ist kein Beweis! Bei Hebungsfaltung wird bald denudiert, aber die durch die Denudation angezeigte Hebung erweist keineswegs, daß Faltung Hebungsursache war. Daß dieser Kausalnexus nicht bestand, zeigt auch Senkungsfaltung, deren Auftreten durch lückenlose Diskordanzen, also durch Weitersedimentation, ebenso sicher erwiesen wird wie Hebung durch Denudation; es handelt sich hier um analoge Vorgänge. Für lückenlose Diskordanzen gibt STILLE Beispiele [1924, 47 f.].

STILLE führt die Randstaffeln der Egge als besten Beleg dafür an, daß auch die Bildung von Schollengebirgen mit Heraushebung verbunden war [1924, 239], wobei er die Blockbildung für die Ursache der Hebung hält [1924, 240]. Das ist aber keine Erklärung. Wie könnte Blockbildung Hebung veranlassen? Solch einen ursächlichen Zusammenhang beweisen weder die Egge- noch andre Staffeln. Ich nehme [HAARMANN 1930, 30 f., 169] an, daß die Oberkruste während und infolge von Vertikalbewegungen zerbrach und sich staffelte, wie ich das in einer Arbeit über die Spaltung der Erdkruste näher darlegen werde. Dieser Vorgang ist auch experimentell (H. CLOOS) nachzuahmen. Wenig nördlich der Egge, im Gebiet des Osning-Wiehengebirges, hat HAACK [1924] stetes Oszillieren benachbarter Großschollen seit dem Jura, also auch Hebungen nachgewiesen [vgl. auch HAARMANN 1930, 56 f.]. Den Zusammenhang zwischen Faltung und Hebung habe ich an anderer Stelle [1930, 181 ff., 220, 1931, 386] eingehend besprochen. Ich habe darzulegen versucht, daß Faltung mit Hebung nicht so zusammen-

hängt, wie die Anhänger der Kontraktionstheorie meinen. Ohne hier auf das Problem nochmals weiter einzugehen, will ich nur auf seine Diskussion in einer ausgezeichneten Arbeit von EDWARD W. BERRY [1929] hinweisen, in der er fragt, ob wir zu einer Kataklysmen-Geologie zurückkehren sollen. BERRY's und meine jetzige Arbeit ergänzen sich in mehrfacher Beziehung, und ich empfehle seinen Aufsatz eingehendem Studium. Über die wegen ihrer ursächlichen Verquickung von STILLE immer angenommene Gleichzeitigkeit von Faltung und Hebung sagt BERRY [S. 4]: „It is most astonishing when you come to think of it that geologists almost unanimously confuse the folding of strata and the uplift of mountains as if they were concomitant and relatively sudden events due to compressional forces developed in a contracting earth. In recent years STILLE has marshalled the data in favor of the assumption that folding and elevation are synchronous, but it does not seem to me that he proves his point, for the reason that in many instances where uplift follows the folding of strata this uplift can be shown to be progressing independently of the folding and to be shared equally by the unfolded extensions of the folded rocks. I regard this as a most important point.“ Meine Ansicht hierüber, wie ich sie seit 1917 immer wieder geäußert habe, deckt sich ganz mit der BERRY's. Nur bei Hebungsfaltung (Freileitung z. T.) fällt Faltung in die Hebungszeit, wobei aber nicht Faltung hebt, sondern umgekehrt Hebung Faltung verursacht. BERRY stellt Schemata geologischer Ereignisse von SCHUCHERT & BARELL, SONDER und BERKEY & MORRIS gegenüber und zeigt, wie wenig sie übereinstimmen. An mehreren Beispielen erläutert er die Tatsache, daß diskordante Lagerung in einem Gebiet von konkordanter in einem andern begleitet wird, worauf übrigens auch v. BUBNOFF hinweist [1931, 161], wenn er auch solche Konkordanzen als scheinbare bezeichnet. BERRY diskutiert die Zeitbestimmung der Erdrevolutionen und der Formationsgrenzen, deren Gleichzeitigkeit, wie wir schon sagten, keineswegs so sicher ist, wie gemeinhin angenommen wird.

Nehmen wir an, wie das schon heute viele Fachgenossen tun, daß Schrägstellung von Schichten nicht durch Seitenschub erklärt werden kann oder zu werden braucht, so ist eine Diskordanz nicht mehr Zeitmarke für das Aufhören bisheriger und den Ein-

satz grundsätzlich andersartiger Bewegungen, wie das viele vermuten. Was für Bewegungen bezeugen denn Verhältnisse etwa wie Schema Abb. 2, wenn wir Kontinentalablagerungen ausschließen? Sie besagen:

1. Senkung während (oder vor) Ablagerung von I.
2. Hebung nach 6 und vor 11, angezeigt durch die Schichtlücke zwischen 6 und 11, gleichgültig, ob sie primär ist oder ganz oder teilweise auf Abtragung zurückgeht.
3. Senkung spätestens mit Beginn von II.
4. Hebung nach 13 in den heutigen Beobachtungsbereich.

Die Schichten I können mit der Hebung (2) oder mit der letzten Senkung (3) oder mit diesen beiden Bewegungen schräg gestellt worden sein. Liegt II noch heute wagrecht, so darf man Schräghebung (bei 2) vermuten.

Einzig und allein also den uns ja auch sonst so wohlbekanntesten ständigen Ablauf der Oszillationen kann man aus der Beobachtung

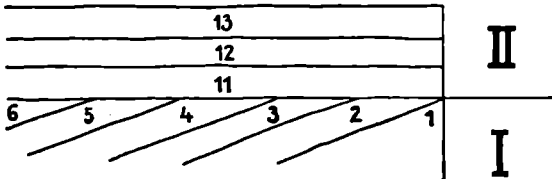
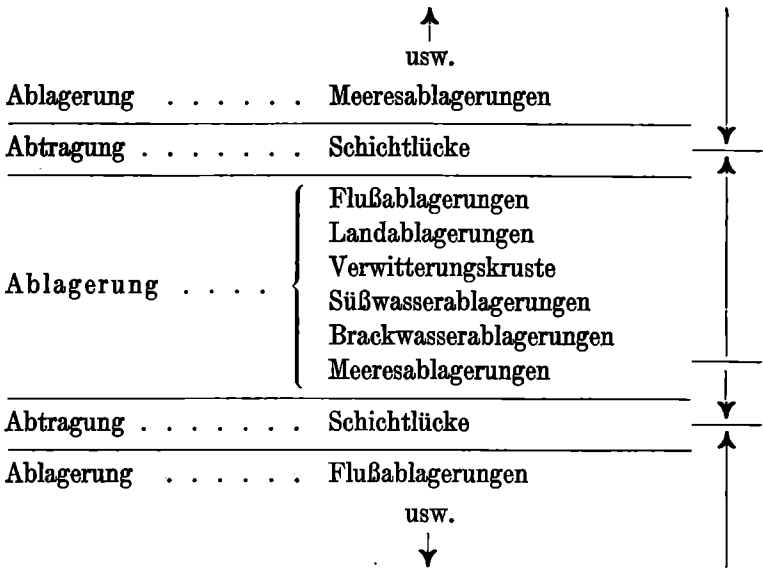


Abb. 2. Diskordanz über schräggestellten Schichten.

erschließen, nicht mal über eine besondere Beschleunigung oder Verzögerung des Aufundabs sagt sie etwas aus. Die sich infolge der Oszillationen herausbildenden Krustenverhältnisse sind von dem zufälligen und für die Art der Bewegungen gleichgültigen Wasserstand abhängig. Sind wie in Abb. 2 die Schichtenköpfe mit Hilfe von Wasser abgeschnitten, so lag der Wasserspiegel innerhalb des Oszillationshubs der Schollenoberfläche. Liegt der Wasserspiegel wesentlich höher oder tiefer, so bilden sich keine oder jedenfalls nicht diese deutlichen Oszillationsdokumente. Ebenso sind die faziellen Oszillationsbeweise, wie etwa KLÜPFEL sie bekanntgemacht hat, vom Wasserspiegel abhängig. Nach KLÜPFEL [1929, 87] tritt in manchen Schichtenfolgen immer wieder ein fazieller Rhythmus auf:



Da der Wasserstand für das Zustandekommen von Oszillationsdokumenten wesentlich mitentscheidet, so beweist ihr Fehlen nicht, daß keine Oszillationen stattgefunden haben. Die Oberflächen der Kontinentalschilde können sehr wohl in den Zeiten ihrer Schichtlücken über dem Meeresspiegel oszilliert haben — ja, da Oszillationen überall dort nachzuweisen sind, wo die Vorbedingungen für einen Nachweis vorhanden sind, und außerdem Kontinentalschilde, wenn auch nach langer Zeit, doch schließlich einmal untertauchen, so halte ich es für wahrscheinlich, daß sie stets oszilliert haben. v. BUBNOFF's Annahme, daß die „Blöcke“ stets stiegen [1931, 147 f., 152, 156, 198] und die „Ozeane“ stets sanken [1931, 196, 199], halte ich für unerwiesen und unzutreffend. Habe ich damit recht, so muß v. BUBNOFF's System der Krustenelemente revidiert werden, wobei noch manche andere Frage zu diskutieren wäre.

Wie hoch im Falle von Abb. 2 die Kruste herausgehoben wurde, ob etwa dort ein Gebirge zur Diskordanzzeit (zwischen 6 und 11) war, darüber können wir nichts sagen, wenn uns nicht andere Mittel helfen.

Viele Fachgenossen bestimmen, auch wenn sie nicht der Kontraktionslehre anhängen, doch mit Diskordanzen die Zeitlichkeit besonders gearteter Bewegungen — auch dann, wenn wie in Abb. 2

die überlagerten Schichten nicht gefaltet, sondern schräggestellt waren. Diese Methode müssen die Nichtkontraktionisten aufgeben. Ich wiederhole: nur wenn man annimmt, daß die Schrägstellung durch Seitendruck hervorgerufen wird, ist Abb. 2 so zu deuten, daß nach Ablagerung von I vorher nicht vorhandener Seitendruck auftrat und so diese „orogene Phase“ zeitlich festgelegt werden kann.

Entsprechend sind die Verhältnisse in Abb. 3, wo die überlagerten Schichten gefaltet sind. Nur wer die Prämisse macht, daß die Falten durch „tektonischen Seitendruck“ entstanden

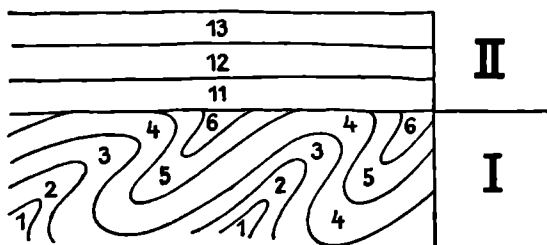


Abb. 3. Diskordanz über gefalteten Schichten.

sind, kann weiter schließen, daß zwischen 6 und 11 eine Bewegungsphase liegt, die auf vorher und nachher unwirksame Primärkräfte in der Erdkruste zurückgeht. Wie aber, wenn die Prämisse nicht richtig ist, wenn die Scholle bei Schräghebung von I gleitfähige und gleitreife Schichten auf ihrem Kopf trug und die Schichten, sich faltend, sekundärtektonetisch abglitten? Oder wenn die Falten von I Volltrogfalten sind, die bei Senkung entstanden, nun erst gefolgt von einer Hebung der Oberfläche in den Abtragungsbereich? Dann zeigt uns auch Abb. 3 ein, möglicherweise langsam-stetiges, Aufundab und erlaubt weiter die Zeitbestimmung rein sekundärtektonetischer Vorgänge (Freigleitung) oder solcher, die sich aus dem Zusammenwirken von Primär- und Sekundärtektonese ergeben (Volltroggleitung). Wir können also zeitlich bestimmen:

1. Senkung während (oder vor) der Ablagerung von I, vielleicht begleitet von Volltroggfaltung.
2. Hebung nach 6 und vor 11, vielleicht begleitet von Freigleitung.
3. Senkung spätestens mit Beginn von II.
4. Hebung nach 13 in den heutigen Beobachtungsbereich.

Um nicht mißverstanden zu werden, wiederhole ich: im Rahmen meiner Auffassungen erlauben Diskordanzen die zeitliche Feststellung von Oszillationen und gegebenenfalls ihrer sekundärtektogenetischen Begleiterscheinungen, nicht aber die Verweisung verschiedenartiger Bewegungen in getrennte Zeiträume.

Auch Gerölle beweisen nur primärtektogenetische (in anderem Sinne: epirogenetische) Bewegungen, gleichgültig, ob ihre Bildung von Sekundärtektogenese begleitet war oder nicht; auch sie also sind für den Nachweis „orogenetischer“ Bewegungen ungeeignet.

Die Tauglichkeit von Diskordanzen und zum Teil auch von Geröllen für die Zeitbestimmung von Krustenbewegungen hängt, wie ich klargemacht zu haben hoffe, von den jeweiligen Grundanschauungen der Forscher ab. Damit ist wieder einmal gezeigt worden, daß auch der Feldgeologe — mag er sich noch so sehr dagegen wehren — nicht darauf verzichten kann, die Prämissen der Geologie kritisch zu prüfen. Jeder Geologe muß sich darüber unterrichten, ob und wie Bewegungen der Erdkruste zeitlich festzustellen sind und welche Annahmen hierbei gemacht werden. Das ist gleichbedeutend damit, daß es auch für den Feldgeologen notwendig ist, zu den Theorien über Tektogenese Stellung zu nehmen.

Zusammenfassung.

Das geologische Zeitmaß hat relativ nicht dieselbe Trennschärfe wie das physikalische; es muß sich auf geologisches Geschehen, und zwar möglichst auf die primären Bewegungen der Erdkruste gründen. Das sind nach Auffassung der Anhänger der Kontraktionstheorie die Horizontalbewegungen, nach meiner Ansicht die Vertikalbewegungen, die Oszillationen. Sekundäre Bewegungen und Fossilien sind nur bedingt als Zeitmarken geeignet.

Gesetze nach Art der physikalischen, die eine kontrollierbare Versuchsanordnung zur Ausschaltung der Zufälle voraussetzen, können auf geologisches Geschehen nicht übertragen werden.

STILLE gründet seine Trennung von epirogenetischen und orogenetischen Krustenbewegungen auf GILBERT, weicht aber dabei von dessen Ansichten — die er teilweise anders versteht als ich — auch in den wesentlichen Grundzügen ab. STILLE's durch die zeit-

liche Trennung von „Epirogenese“ und „Orogenese“ entstandene Phasenschema der Krustenbewegungen ist unter Auslese der Beobachtungen in geeignete und ungeeignete auf einem Zirkelschluß gebaut. Man kann Primär- und Sekundärtektogenese unterscheiden, nicht aber in STILLE's Sinn zeitlich getrennte Epirogenese und Orogenese *salvis exceptionibus et reservatis reservandis*. STILLE's Phasenplan mit samt der Unterscheidung von „Epirogenese“ und „Orogenese“ ist daher aufzugeben.

Kontinuierlich bewegt sich die Erdkruste, ohne daß man verschieden geartete Bewegungen zeitlich trennen könnte. In noch unbekanntem Rhythmus wechselt die Intensität der Bewegungen. Auch für Tektogenese kann man daher, wenigstens für die postarchaische Zeit, in großen Zügen das Prinzip des Aktualismus anwenden: heute geschehen gleichzeitig primärtektogenetische Hebungen und Senkungen mit allen ihren Äußerungsformen und sekundärtektogenetischen Begleiterscheinungen.

Diskordanzen erweisen das Aufhören bisheriger und das Auftreten andersartiger Primärbewegungen nur unter der Voraussetzung, daß Tektogenese durch die Kontraktionstheorie zu erklären ist. Läßt man diese Prämisse fallen, so sind Diskordanzen durch Oszillationen zu erklären, oft begleitet von Schrägstellung der Schollen, oft auch von sekundärtektogenetischen Ereignissen, deren Zeitlichkeit durch die Diskordanzen festzustellen ist.

Literatur.

- ANDREE, K.: Über die Bedingungen der Gebirgsbildung. Berlin 1914.
- ARGAND, E.: Plissements précurseurs et plissements tardifs des chaînes de montagne. Act. Soc. helvét. Sci. natur. Neuchâtel 1920. 1—27.
- BERNDT, F.: Deuten die Ergebnisse der bisherigen Feineinwägungen an der deutschen Nordseeküste auf gegenwärtige Erdkrustenbewegungen? Mitt. d. Reichsamts f. Landesaufn. Berlin. Jahrg. 1932/33. H. 3. 205—231.
- BERRY, E. W.: Shall we return to Cataclysmal Geology? Amer. Journ. of Sci. 17. 1—12. 1929.
- BORN, A.: Erdkrustenbewegungen. GUTENBERG's Handb. d. Geophys. 3. 1931.
— Das Alter der Erde und geologische Zeitalter. GUTENBERG's Handb. d. Geophys. 2. 1932.
- BOURCART: Observations sur la nature des mouvements récents de l'Albanie occidentale. C. R. de l'Acad. de Sci. 178. 1924.

- BRÜGGEN, J.: Über den Ursprung der chilenischen Seen. Verh. d. deutsch. wiss. Ver. in Santiago. 6. 1920. Sonderdr. 1—29.
- BUBNOFF, S. v.: Grundprobleme der Geologie, eine Einführung in geologisches Denken. Berlin 1931.
- BUCKMAN, S. S.: Jurassic chronology I, Lias. Suppl. I, West England strata. Quart. J. Geol. Soc. 76. London 1920. 62 ff.
- Jurassic chronology II. Preliminary studies. Ebenda. 78. 1922. 378 ff.
- CHAMBERLIN, T. C. & R. D. SALISBURY: Geology. 1. 2. Aufl. London 1909.
- CLOOS, H.: Bau und Bewegung der Gebirge in Nordamerika, Skandinavien und Mitteleuropa. — Fortschr. d. Geol. u. Pal. 7. S. 241—327. Berlin 1928.
- EBERT, A.: Magnetische Messungen im südwestlichen Dänemark. Danmarks geologische Undersøgelse. 2. Reihe. 1932. Nr. 53.
- GAGEL, C.: Die letzte, große Phase der diluvialen Vergletscherung Norddeutschlands. Geol. Rundsch. 6. 1915. 49—89.
- GILBERT, G. K.: Lake Bonneville. Mongr. U. S. Geol. Surv. 1. 1890.
- HAACK, W.: Die nordwestfälisch-lippische Schwelle. Zs. Deutsch. Geol. Ges. 76. 1924. 33—52.
- HAARMANN, E.: Tektogenese oder Gefügebildung statt Orogenese oder Gebirgsbildung. Zs. Deutsch. Geol. Ges. 78. Mtsber. 1926. 105—107.
- Die Oszillationstheorie, eine Erklärung der Krustenbewegungen von Erde und Mond. Stuttgart 1930.
- Bemerkungen zur Aussprache über die Oszillationstheorie. Zs. Deutsch. Geol. Ges. 83. 1931. 368.
- HAHN, F. F.: „Revision der Paläozoischen Systeme“ — ein Markstein der Stratigraphie als Wissenschaft? Geol. Rundsch. 3. 1912. 544—556.
- KAYSER, E.: Lehrbuch der Allgemeinen Geologie. 2. Stuttgart 1923.
- KIRKHAM, V. R. D. & M. M. JOHNSON: Active fault near Whitebird, Idaho. Journ. of Geol. 37. 1929. 700 ff.
- Klüpfel, W.: Der Westerwald. Ber. d. Niederrhein. Geol. Ver., 1927—1928. Bonn 1929. 75—135.
- KRAUS, E.: Das Wachstum der Kontinente nach der Zyklustheorie. Geol. Rundsch. 19. Berlin 1928. 353 ff.
- KREBS, N.: Die Ostalpen und das heutige Österreich. Eine Länderkunde. Bibl. länderkundl. Handb. 1. Stuttgart 1928.
- LE CONTE, J.: Earth-crust movements and their causes. Bull. Geol. Soc. Amer. 8. 1897. 113—126.
- LEITH, C. K.: Structural Geology. New York 1913.
- LONGWELL, C. R.: Outlines of Physical Geology. New York 1930.
- LOUIS, H.: Die Talgeschichte der mittleren und unteren Oder. Zs. d. Ges. f. Erdk. 1931. 175—192.
- NOWACK, E.: Über nachtertiäre Faltenbewegungen in Albanien. Geol. Rundsch. 12. 1921. 35—51.
- Übersicht über die tektonische Entwicklung Albaniens. Geol. Rundsch. 20. 1929. 96—107.
- Geologische Übersicht von Albanien. Salzburg 1929.
- PIA, J.: Grundbegriffe der Stratigraphie. Leipzig und Wien 1930.
- PIRSSON, L. V.: Physical Geology (Teil 1 von PIRSSON & SCHUCHERT a Text-book of Geology). 2. Aufl. New York 1920.

- RECK, H.: Geologische Forschungen in Kenya Colony. Forsch. u. Fortschr. 8. 1932. 258—259.
- ROETHE, O.: Über die Stauchungen im Braunkohlentertiär der östlichen Mark Brandenburg. Jb. d. Hall. Verb. 11. N. F. 1932. 185—224.
- RUSSEL, J. C.: Quaternary history of Mono Valley, California. U. S. Geol. Surv. Ann. Rep. Nr. 8. 1886—1887. Part. I. 1889. 259 ff.
- Lakes of North America. Boston u. London 1895.
- SCHUH, F.: Die saxonische Gebirgsbildung. Sonderdruck aus „Kali“. 16. 1922.
- SEITZ, O. & W. GOTHAN: Paläontologisches Praktikum. Berlin 1928.
- SEITZ, O.: Über Raum- und Zeitvorstellung in der Stratigraphie und deren Bedeutung für die stratigraphischen Grundprinzipien. S.-B. Preuß. Geol. Landesanst. 6. Berlin 1931 a. 87—99.
- Ergänzende Bemerkungen über stratigraphische Raum- und Zeitbegriffe. Jb. Preuß. Geol. Landesanst. 52. Berlin 1931 b. 520—522.
- SEMPER, M.: Die Grundlagen paläontologischer Untersuchungen. CBl. Min. 1908. 434—445.
- Die geologischen Studien GOETHE's. Beiträge zur Biographie GOETHE's und zur Geschichte und Methodenlehre der Geologie. Leipzig 1914.
- SPATH, L. F.: On the Contemporaneity of certain Ammonite beds in England and France. Geol. Mag. 68. London 1931. 182—186.
- SPOONER, W. C.: Homer Oil Field, Clayborne Parish, Louisiana, Structure of Typical American Oil Fields Symposium. 2. London 1929. 196—228.
- STILLE, H.: Die Begriffe Orogenese und Epirogenese. Zs. Deutsch. Geol. Ges. 71. Abh., 1919, 164—208.
- Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Berlin 1924.
- Suess, F. E.: Zur Deutung der Vertikalbewegungen der Festländer und Meere. Geol. Rundsch. 11. 1921. 144—168 u. 249—406.
- TEICHERT, C.: Die Cephalopoden-Fauna der Lyckholm-Stufe des Ostbaltikums. Paläont. Zs. 12. 1930. 264—312.
- ULRICH, E. O.: Revision of the Paleozoic Systems. Bull. Geol. Soc. Amer. 22. Nr. 3. 1911.
- Major Causes of Land and Sea Oscillations. Journ. of the Washington Ac. of Sci. 10. 1920. 58—78.
- WAGNER, G.: Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte. Öhringen 1931.
- WEDEKIND, R.: Über die Grundlagen und Methoden der Biostratigraphie. Berlin 1916.
- Über Zonenfolge und Schichtenfolge. CBl. Min. 1918. 268—283.
- WEISSNER, J.: Der Nachweis jüngster tektonischer Bodenbewegungen in Rheinland und Westfalen. Essen 1929.
- WILSER, J. L.: Heutige Bewegungen im Oberrheintalgebiet. Nat. u. Mus. 59. 1929. 285 ff.
- WINKLER, A.: Das Abbild der jungen Krustenbewegungen im Talnetz des steirischen Tertiärbeckens. Zs. Deutsch. Geol. Ges. 78. Abh. 1926. 501—521.
- ZEUNER: Diluvialstratigraphie und Diluvialtektonik im Gebiete der Glatzer Neiße. Borna-Leipzig 1928.

Bei der Redaktion eingegangen am 12. März 1933.