

DIE BEGRIFFE OROGENESE UND EPIROGENESE.

VON
HANS STILLE.

SONDER-ABDRUCK AUS DER
ZEITSCHRIFT DER DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT,
BAND 71, JAHRGANG 1919, ABHANDLUNGEN Nr. 3--4.

Die Begriffe Orogenese und Epirogenese.

Von Herrn HANS STILLE, Göttingen.

Etwas erweiterte Wiedergabe eines Vortrags, gehalten in
Berlin in der Sitzung der Deutschen Geologischen Gesellschaft
am 3. Dezember 1919.

I n h a l t.

	Seite
Einleitung: Bedeutung der Epirogenese bei morphologischen und tektonischen Studien	165
I. Die Begriffe Orogenese und Epirogenese in GILBERTS „Lake Bonneville“ (Unterscheidung nach morphologischem Ergebnis und Vorgangsart)	170
II. Unterscheidung von Orogenese und Epirogenese nach im wesentlichen raumartigen Verhältnissen	176
A. HAUG	176
1. HAUGS Unterscheidung von Orogenese und Epirogenese	176
2. Einwendungen	180
B. DACQUÉ	185
III. Unterscheidung von Orogenese und Epirogenese nach Vorgangsart und zeitlichen Verhältnissen	189
A. Ablehnung von Raumart und morphologischem Ergebnis als grundsätzlich anwendbaren Unterscheidungsprinzipien	189
B. Definition der Epirogenese	190
Die epirogenetischen Vorgänge sind:	
1. weitspannig	190
2. säkular	192
3. gefügerhaltend	193
C. Definition der Orogenese	195
Die orogenetischen Vorgänge sind:	
1. gefügeverändernd	195
2. episodisch	195
D. Synklinal- und Geosynklinalbildung in Beziehung zum ozeanischen Spiegel	200
E. Beispiele:	200
1. Kaledonische und postkaledonische tektonische Bewegungen	200
2. Jungtertiäre Vorgänge am Ostrande der Zentralalpen	202
3. Die „Großfaltung“ Kleinasiens	203
IV. „Synorogenesen“	205

Einleitung: Bedeutung der Epirogenese bei morphologischen und tektonischen Studien.

Die Beschäftigung mit denjenigen tektonischen Vorgängen, die gegenüber den eigentlichen Schichtendislokationen im wesentlichen auf vertikale Niveauveränderungen hinauskommen und die wir als die epirogenetischen bezeichnen, ist in den Kreisen der Geologen und ganz besonders in den Kreisen der deutschen Geologen recht gering, vielmehr absorbieren den Geologen in tektonischen Fragen fast ausschließlich die eigentlichen Dislokationsvorgänge. Demgegenüber hat die Epirogenese in hohem Maße von geographischer Seite Beachtung gefunden²⁾. Es ist das zunächst zu verstehen, nachdem sich einmal eine Arbeitsteilung, — man mag über sie denken wie man will —, entwickelt hat, die dem Geographen (Morphologen) die Erklärung der Morphologie der Oberfläche, dem Geologen die Erklärung der Struktur des Untergrundes zuweist; die Erklärung der Oberflächenformen fußt aber immer wieder auf jenen Verhältnissen, die die exogenen Vorgänge der Denudation und z. T. auch der Sedimentation bedingen und verändern, und unter diesen steht die Epirogenese voran. Ist doch überhaupt für viele Morphologen der geologische Bau des Untergrundes zu einer großen Nebensächlichkeit geworden gegenüber dem Wechsel der Erosionsbedingungen im Zusammenhange mit allgemeinen Niveauveränderungen (Epirogenesen).

Aber die Epirogenesen sind nicht nur Vorgänge der Jetztzeit und jungen geologischen Vergangenheit. — mögen sie hier auch besonders augenfällig sein —, sondern sie haben sich ebensogut in älterer geologischer Vorzeit ereignet, haben in bezug auf diese aber gegenüber den eigentlichen gebirgsbildenden Vorgängen, die uns viel greifbarer überliefert sind, viel zu wenig Beachtung gefunden. Und doch stehen sie diesen an Bedeutung gewiß nicht nach, wenn man, wie v. STAFF³⁾ mit Recht fordert, das Volumen der erreichten Massenbewegungen zum Kriterium für die

²⁾ Als besonders bemerkenswerte und zusammenfassende Veröffentlichung von morphologischer Seite nenne ich: FRITZ MACHATSCHKE, Über epirogenetische Bewegungen. Bibl. geogr. Handbücher, PENCK-Festband, 1918, S. 1.

³⁾ K. von STAFF, Beiträge zur Geomorphogenie und Tektonik Deutsch-Ostafrikas. Archiv für Biontologie, Bd. III, Heft 3, S. 78 ff. 1914.

tektonische Bedeutsamkeit einer geologischen Periode macht. v. STAFF hat auch wohl nicht Unrecht, wenn er die unzureichende Beachtung der epirogenetischen Verhältnisse zum Teil auf das Vorbild von EDUARD SUSS zurückführt, der von epirogenetischen Bewegungen nicht viel wissen und sie höchstens als rein „örtliche Vorkommen“ gelten lassen wollte⁴).

Gewiß gibt es Ausnahmen hinsichtlich der unzureichenden Würdigung der Epirogenesen in Geologenkreisen. Ich brauche nur auf E. HAUG (vgl. unten) zu verweisen, der in seinem *Traité de Géologie* der Behandlung einer jeden Formation einen besonderen Abschnitt nicht nur über die Gebirgsbildungen, sondern auch über die epirogenetischen Vorgänge der betreffenden Zeitspanne beifügt. Und was die deutsche geologische Literatur anlangt, so darf ich vielleicht auf meine eigenen Arbeiten hinweisen⁵).

Allerdings muß man sich, um die Bedeutung der Epirogenese für die ältere geologische Vergangenheit zu verstehen, zunächst voll in den Gedanken hineinversetzen, daß die Epirogenese, — und davon wird in folgendem noch nachdrücklich zu sprechen sein —, nicht nur ein aufwärts, sondern ebensogut ein abwärts gerichteter tektonischer Vorgang ist. Daß aber von Epirogenese vielfach nur im Sinne der Aufwärtsbewegung von Festlandsmassen die Rede ist, liegt m. E. an zweierlei. Es liegt zunächst schon etwas an der in dieser Hinsicht nicht ganz glücklichen Wahl des Wortes, wie GILBERT (vgl. unten) sie getroffen hatte; es liegt aber vor allem daran, daß man sich mit der Epirogenese bisher vornehmlich hinsichtlich ihrer Wirkungen in den jüngsten geologischen Zeiten beschäftigt hat und daß uns allerdings aus diesen Zeiten die Spuren der aufwärtigen Epirogenese (gehobene und verbogene Terrassen, alte Landflächen usw.) in besonderem Maße zugänglich sind, während die Spuren der jungen abwärtigen Epirogenese zumeist in den Meeresräumen verhüllt liegen. In bezug auf die Epirogenesen der älteren geologischen Perioden ist es aber anders. Hier sind uns die Doku-

⁴) EDUARD SUSS, *Antlitz der Erde*, III, 2, S. 723.

⁵) H. STILLE, *Senkungs-, Sedimentations- und Faltungsräume*, XI. Intern. Geologenkongreß, Stockholm 1910. — *Tektonische Evolutionen und Revolutionen*, Leipzig 1913. — Die saxonische „Faltung“. Diese Zeitschr. 1913, Monatsber. S. 575 ff. — *Injektivfaltung und damit zusammenhängende Erscheinungen*. Geol. Rundsch. VIII, 1917, S. 89 ff. spec. Kap. V. — *Alte und junge Saamtiefen*. Nachr. k. Ges. d. Wiss., Göttingen, Math.-phys. Kl. 1919.

mente der aufwärtigen Epirogenese kaum erhalten, denn von den morphologischen Formen der damaligen Festländer ist uns kaum etwas geblieben. Festlandsschwellen sind eben Denudationsgebiete, und mit fortschreitender Denudation verschwinden wieder die Spuren der vorangegangenen aufwärtigen Epirogenesen. Nur die allgemeine Vorstellung ist da, daß sich die Festlandsgebiete, um durch lange Zeiten das Material für die Auffüllung der Geosynklinalen liefern zu können, im Zustande des mehr oder weniger kontinuierlichen Aufsteigens befunden haben müssen. Aber um so sinnfälliger sind aus der älteren geologischen Vergangenheit die Dokumente der abwärtigen Epirogenese überliefert, nämlich die unserer Beobachtung heute zugänglich gewordenen mächtigen Schichtfolgen der damaligen sinkenden Räume.

So ist es zu erklären, daß der Morphologe, wenn er von Epirogenese spricht und auch wenn er sie zu erklären versucht, vorherrschend und oft nur allein an die aufwärtige Epirogenese denkt und dabei unbeachtet läßt, daß ein abwärtiger, für seine besonderen Probleme allerdings weit unwichtigerer Vorgang parallel geht. Demgegenüber ist bei den epirogenetischen Vorgängen der älteren Erdgeschichte die abwärtige Bewegung, das Einsinken der Sedimentationsbecken, der uns in erster Linie überlieferte Vorgang.

Sehen wir von der erheblichen Bedeutung der epirogenetischen Vorgänge für sehr viele allgemein-geologische und insonderheit auch für paläogeographische Fragen ab, so ist m. E. auch für den mehr regional arbeitenden Geologen bei der Erklärung der Lagerungsformen und der tektonischen Geschichte eines einzelnen Landstrichs die gesteigerte Beschäftigung mit den Fragen der Epirogenese dringend wünschenswert, weil sie nämlich erstens zu einem vertiefteren Verständnis des Zustandekommens der Lagerungsverhältnisse und zweitens zu einer Berichtigung mancher Vorstellung, die vielleicht jetzt noch als gesichert oder gar als selbstverständlich gilt, führen kann.

Was dem ersten Gesichtspunkt anlangt, so ist ja die Gebirgsbildung durch gewisse, bei ihrem Eintreten gegebene Verhältnisse vorbedingt. Ich verweise nur auf die zuerst von JAMES HALL erkannte Beziehung zwischen Mächtigkeit der Schichtsysteme und nachfolgender Faltung, die in dem Grundgesetze der Gebirgsbildung, nach welchem die Geosynklinalen die vorbereiteten Stätten der Faltung sind, zum Ausdruck kommt. Aber nicht

nur ganz allgemein das Eintreten und die Intensität der Faltung, sondern auch die ganze Art und weitgehende Einzelheiten derselben sind durch den vorher entstandenen „Rohbau“ des Bodens vorbereitet, wie ich in bezug auf die deutschen Verhältnisse zu zeigen mich bemüht habe. In Betracht kommt hier die Lage der Faltungsstätten zu den Rahmen, die Art und Kontur der Rahmen, die Ausgestaltung der Uebergangszonen zwischen Rahmen und Sedimentationsbecken, die „Tiefgründigkeit“ der Becken und überhaupt die Verhältnisse der Mobilität und anderes mehr. Aber was bedingt den Rohbau? Was bedingt den Gegensatz zwischen Geosynklinalen und Geantiklinalen? Was bedingt ihre Lage zueinander? Was bedingt die Konturen? Was macht die Räume flach- oder tiefgründig? Ueberall stoßen wir hier auf den Kreis der epirogenetischen Vorgänge. Wenn es also richtig ist, daß die Epirogenese die Orogenese in sehr wesentlichen Zügen bedingt, so bringt uns auch wohl erst ihr Studium, d. h. dasjenige der bedingenden Verhältnisse, zu einer vertiefteren Auffassung der orogenetischen, d. h. der bedingten Vorgänge. Und indem wir bei dem Studium der Epirogenese die Paläogeographie in hohem Maße heranziehen müssen, erweist sich diese als wichtige Hilfswissenschaft der Tektonik.

Zweitens, so sagte ich, zeigt sich, wenn wir die Epirogenese neben den weit sinnfälligeren „gebirgsbildenden“ Ereignissen gebührend berücksichtigen, daß manche eingewurzelte Vorstellung über den Mechanismus gebirgsbildender Vorgänge nicht haltbar ist. Wenn zweierlei Vorgänge ein tektonisches Bild, wie es z. B. die Verteilung der Formationen in Mitteleuropa bietet, bedingen, und wenn man dann die Verschiebungseffekte, die hier feststellbar sind, allein der einen Vorgangsart auf das Konto setzt, so müssen sich selbstverständlich falsche Vorstellungen über diese Vorgangsart entwickeln. Zieht man aber von den angeblichen Alleinvertretungen der Orogenese und ihrer Erscheinungsformen, so der Verwerfungen, dasjenige ab, was nicht durch sie, sondern durch die epirogenetischen Vorgänge erzielt worden ist, so muß sich manche herkömmliche Ansicht ändern, oft sogar in ihr Gegenteil. Dann sind z. B., — ich wähle hier solche Fälle, die ich an anderer Stelle bereits berührt habe —, die Meere nicht mehr eingebrochen; dann gibt es kein Einbrechen des Rheintalgrabens und ähnlicher Undationsgräben mehr, sondern unter Aufwärtsbewegung ist die Ausfüllungsmasse des epirogenetisch entstandenen

Beckens zu einem „Graben“ geworden; dann sehen wir ein; daß beim Aufreißen der Randbrüche zwischen den „alten Massen“ und den „Senkungsfeldern“ die „Senkungsfelder“ der relativ gehobene und die „Massen“ der relativ gesunkene Teil sind; dann ist es auch wohl endgültig vorbei mit der Erklärung des deutschen Schollengebirges durch differentielle radiale Senkung.

Wenn also E. DE MARTONNE⁶⁾ sagte, daß wir bei der Beschäftigung mit der Epirogenese an der Schwelle einer ganzen Welt neuer, noch ungeklärter Fragen, die von größter geographischer Wichtigkeit sind, stehen, so stehen wir damit auch an der Schwelle einer ganzen Welt neuer Fragen von größter geologischer Wichtigkeit.

So ist es m. E. wahrlich vonnöten, daß das Studium der Epirogenese nicht die Domäne der Morphologen bleibt, sondern daß sich auch der Geologe bei der Lösung der Fragen aus älterer Vergangenheit ihrer Bedeutung weit mehr als bisher bewußt wird. Allerdings besteht noch eine gewisse Unklarheit, um nicht zu sagen Verwirrung, über die Begriffe Orogenese und Epirogenese, und wenn DE MARTONNE (l. c.) 1909 hervorhob, daß noch nicht einmal die Terminologie feststeht, so ist es damit heute nicht besser, sondern, wie ich aus literarischen Neuerscheinungen der letzten Jahre wieder ersehe, eher schlimmer bestellt. Klarheit der Begriffe ist aber die Vorbedingung, um mit ihnen arbeiten zu können, — und diese Klarheit zu fördern, mache ich heute den Versuch. Ich gehe dabei von der Urbedeutung der Begriffe Orogenese und Epirogenese aus, wie sie in G. K. GILBERTS Fundamentalwerke⁷⁾ festgelegt ist; ich gehe dann auf eine Begriffsfassung ein, die gerade mit Rücksicht auf das hohe wissenschaftliche Ansehen ihres Autors verwirrend zu wirken geeignet ist und neuerdings wieder gewirkt hat, ich meine diejenige E. HAUGS; ich suche endlich diejenige Begriffsumschreibung nach anderer und eigenen Arbeiten zu geben, die, wenn notwendigerweise auch hinausgehend über GILBERTS Begriffsbestimmungen, doch den Grundvorstellungen GILBERTS entspricht und auf diesen aufbauend eine möglichst klare Scheidung der zwei großen Gruppen tektonischer Vorgänge ermöglicht.

⁶⁾ E. DE MARTONNE, *Traité de Géographie physique*. Paris 1909. S. 508.

⁷⁾ G. K. GILBERT, *Lake Bonneville*, U. S. Geol. Surv. Monographs I. 1890.

I. Die Begriffe Orogenese und Epirogenese in GILBERTs „Lake Bonneville“.

(Unterscheidung nach morphologischem Ergebnis und Vorgangsart.)

Der Begriff der Epirogenese ist im Great Basin, dem großen, zwischen den Pazifischen Ketten (Sierra Nevada) und den Rocky Mountains gelegenen abflußlosen Gebiet des westlichen Nordamerikas, beheimatet, und zwar im Becken des ehemaligen Lake Bonneville, dessen letzter Rest heute noch im Großen Salzsee vorhanden ist. Hier hat G. K. GILBERT (l. c.) zum erstenmal die Gesamtheit der tektonischen Deformationen der Erdkruste oder den Diastrophismus, wie er im Anschluß an J. W. POWELL sagte, in „Orogeny“ und „Epeirogeny“ eingeteilt.

Die große Hohlform des Great Basin besteht in sich wieder aus einer Unzahl von einzelnen Becken und Ketten. Sie beherbergt die Basin Ranges, die den bekannten tektonischen Typus („Basin-Range-Type“) der von Verwerfungen umgrenzten monoklinalen Blöcke zeigen. Zwischen den einzelnen Blöcken, die Verwerfungen verhüllend, liegen die Ebenen (Wüsten). Die Höhenlage der rund hundert Einzelbecken sinkt von etwa 5000 Fuß im Norden bis zur Meereshöhe im Süden ab.

Etwa ein Viertel des Great Basin überdeckte einst der Lake Bonneville, der Gegenstand der für die Entwicklung moderner tektonischer Anschauungen so grundlegend gewordenen Monographie GILBERTS. Im Osten umschloß ihn, um mehrere tausend Fuß ihn überragend, die Bergmasse der Wasatch Mountains.

Im Zusammenhang mit den klimatischen Schwankungen der Quartärzeit waren Tiefe und Ausdehnung des Sees großen Schwankungen unterlegen. Die Maxima der Seehöhe, die beiden Bonneville-Stadien, fielen zusammen mit den Maxima der Vereisungen in der Sierra Nevada und dem Wasatch-Gebirge. Im Interglacial-Stadium (Bonneville-Zwischenstadium) war der See flach und eingengt, und in der postglazialen Zeit verkümmerte er von seiner größten Ausdehnung, die er im zweiten Bonneville-Stadium besessen hatte, zum heutigen Salzsee.

Die verschiedenen Stadien der Seehöhe haben nun das hinterlassen, das für GILBERT den Ausgangspunkt für die Vorstellung der epirogenetischen Bewegungen gebildet hat,

nämlich die einst horizontalen, heute aber vielfach verbogenen und zum Teil auch verworfenen Seeterrassen. Von diesen liegt die „Bonneville-Shoreline“ durchschnittlich etwa tausend Fuß, die „Provo-Shoreline“, die entstanden ist, als der Seepegel sich in postglazialer Zeit länger in einigermaßen gleicher Höhe hielt, rund 625 Fuß über dem großen Salzsee. Zahlreiche weitere Terrassen kommen hinzu.

Zweierlei morphologisch-tektonische Elemente erkennt GILBERT im Gebiete des Lake Bonneville und überhaupt des Great Basin, nämlich erstens die weit gespannten Hohlformen, wie das Great Basin oder das Bonneville-Basin, und zweitens die Berggestalten, wie die einzelnen Bergrücken innerhalb des Beckens und das Wasatch-Gebirge.

Diejenigen tektonischen Vorgänge, die die Berggestalten hervorrufen, sind die orogenetischen.

Demgegenüber hat, so sagt GILBERT, die Sprache für die weitspannigen Bewegungen („broad movements“), die „Kontinente und Plateaus, ozeanische Becken und kontinentale Basins“ schaffen, keinen gleichtreffenden Ausdruck, und für Vorgänge dieser Art schlägt er nun die Bezeichnung „epirogenetisch“ vor⁸⁾.

Epirogenetisch heißt zwar festlandbildend; aber ich möchte gleich hier feststellen, daß, als diese Bezeichnung in die geologische Terminologie eingeführt wurde, ihr Autor darunter nicht nur die aufwärtigen Bewegungen, die zur Bildung von Festländern führen, verstand, sondern daß er nachdrücklich auch die abwärtigen Bewegungen, die ozeanische und kontinentale Becken entstehen lassen, einbegriff, ja daß sogar der Urtypus des epirogenetischen Gebildes nicht ein gehobenes Festland, sondern ein gesunkenes Becken gewesen ist. Diese epirogenetischen Vorgänge sind nun nach GILBERT das Ergebnis von Verbiegungen, und GILBERT hat ja gerade durch die Untersuchung der jungen Verbiegungen der Terrassen des Bonneville-Sees die Vorstellung der Epirogenese gewonnen.

Gewiß ist zutreffend, daß die vertikalen Aufwärts- und Abwärtsbewegungen die hauptsächlichsten Erscheinungs-

⁸⁾ Neben der griechischen Wortform epirogenetisch hat sich die latinisierte Form epirogenetisch in der Literatur stark eingeführt. Z. B. hat sich HAUG für sie entschieden (Traité, S. 507.)

formen der weitspannigen Verbiegungen, wie GILBERT sie sich vorstellte, sind; aber trotzdem müssen wir festhalten, daß bei GILBERT die begriffbestimmende Grundvorstellung nicht das vertikale der Bewegungsvorgänge gewesen ist, sondern eben die durch Strandlinien verbiegungen nachgewiesenen Veränderungen, die weite Flächenräume betreffen⁹⁾.

Weit mehr schwebte GILBERT, so scheint es, die Vorstellung der Vertikalbewegung in bezug auf die orogenetischen Vorgänge, d. h. das „Mountain-making“, vor. Jedenfalls werden von ihm die jungen Verwerfungen entlang dem Westfuße des Wasatch-Gebirges gerade deswegen als orogenetische Gebilde angesprochen, weil sie im Sinne der Hebung des Gebirges gewirkt haben sollen.

Oft liest man in der geologischen Literatur, daß GILBERT unter Epirogenese kurzhin die vertikale Bewegung der Festländer oder gar die vertikale Aufwärtsbewegung der Festländer verstanden habe¹⁰⁾. Aber das ist, wie wir gesehen haben, ungenau, und zwar erstens, weil von ihm unter Epirogenese nicht nur die Bewegung der Festländer, sondern auch diejenige der Meeresbecken usw. verstanden wurde, und zweitens, weil der Begriff des vertikalen gegenüber dem Begriff der Verbiegung zurücktritt.

Wir finden im „Lake Bonneville“ eine Doppeldefinition für die Begriffe Epirogenese und Orogenese, und zwar in erster Linie diejenige nach den entstehenden morphologischen Gebilden und in zweiter diejenige nach den endogenen Vorgängen, die zu den morphologischen Gestaltungen geführt haben. Schon in den Worten Oro- und Epirogenese tritt uns dieses entgegen, je nachdem wir ihren ersten oder zweiten Teil betonen. Epirogenese ist einerseits das „Con-

⁹⁾ „Die durch Strandlinienverbiegung festgestellten Veränderungen betreffen weite Flächen und sind epirogenetisch“ (GILBERT, a. a. O., S. 368.)

¹⁰⁾ Vgl. z. B. H. VON STAFF, a. a. O., S. 215, der in einer Diskussion gegen meine Anwendungsart des Begriffs Epirogenese sich darauf stützen will, daß GILBERT als epirogenetisch in erster Linie vertikal hebende Kraftäußerungen bezeichnet habe. Wenn VON STAFF weiter sagt, daß ich den Ausdruck epirogenetisch für Absenkungen der Geosynklinalbezirke reservieren wolle, und daß das kontinuierliche Aufsteigen von Küstengebieten von mir als orogenetisch klassifiziert würde (S. 217, letzter Absatz), daß ferner in küstennahen Zonen mit abwechselnder Hebung und Senkung nach meiner Ausdrucksart die Hebung (Landgewinn) als orogenetisch, die Senkung als epirogenetisch zu bezeichnen wäre, so hat er meine Arbeiten nicht verstanden.

continent-making“ und andererseits der Vorgang der weitspannigen Verbiegungen; Orogenese ist einerseits das „Mountain-making“ und andererseits der entsprechende dislozierende Vorgang. Es steht also neben der resultatlichen Definition eine vorgangsartige.

In dieser Doppeldefinition liegt nun nach heutigem Stande des Wissens eine gewisse Zwiespältigkeit insofern, als Krustenbewegungen, die nach der vorgangsartigen Definition unzweifelhaft epirogenetisch sind (weitspannige Aufwölbungen als „broader swells“), zu Berggestalten führen können, also nach der resultatlichen Definition orogenetischer Art sein würden. Ich denke dabei nicht nur an Gebirge mit älterer Struktur, wie etwa das skandinavische Hochgebirge, den Ural, die Alleghanies, deren jetzige Erscheinungsform als Gebirge nichts mit den alten Faltungsvorgängen zu tun hat, sondern auf Massenhebung und anschließende Modellierung durch die Denudation zurückgeht, sondern es hat sich ja auch für viele unserer Kettengebirge mit junger Faltungsstruktur ergeben, daß die durch die orogenetische Aufwölbung zunächst entstandenen Hochgebirge zu niedrigeren Mittelgebirgslandschaften oder gar weithin zu Rumpfflächen eingeebnet worden waren, und daß erst eine spätere, nun aber weitspannige Aufwölbung von neuem das morphologische Bild des Gebirges hervorgerufen hat. Diese jüngeren Bewegungen charakterisieren sich durch die flache Verbiegung junger morphologischer Gebilde, z. B. von jungen Penepains oder von Talterrassen, in ähnlicher Weise als epirogenetisch, wie GILBERT durch die Verbiegungen der Terrassen des Lake Bonneville zu der Vorstellung der Epirogenese geführt worden ist.

Es hat sich also im Fortschritt der Wissenschaft herausgestellt, daß die von GILBERT als epirogenetisch bezeichneten Vorgänge auch Gebirge erzeugen können, und wir müssen also nunmehr bei der Bezeichnung epirogenetisch den Nachdruck weniger auf das resultatliche als das artliche der Vorgänge legen, d. h. auf die „broad movements“, wie sie z. B. in den Terrassenverbiegungen des Lake Bonneville zum Ausdruck kommen. Der Vorstellungskreis des Jahres 1890 schien noch eine Definition nach dem Resultat solcher Vorgänge zuzulassen; die heutige Erfahrung steht dem aber entgegen. Gewiß ist die Epirogenese auch heute noch diejenige Art von Diastrophismus, die Kontinente und Plateaus, ozeanische Becken und kontinentale Bassins schafft, aber

darüber hinaus schafft sie auch Berggestalten oder wölbt wenigstens die Erdkruste strichweise derartig auf, daß die danach einsetzende Erosion Berggestalten hervorrufft.

Der Vorgang der Epirogenese ist durch GILBERT wohl definiert. Daß dieser Vorgang zu Festländern usw. und nicht zu Gebirgen führt, ist eine subjektive Meinung GILBERTS gewesen, die für die rein äußerliche Nomenklatur epirogenetisch (im Gegensatz zu orogenetisch) bestimmend gewesen ist; wollen wir streng kritisch der Urbedeutung des Wortes nachgehen, so ist also Epirogenese diejenige ganz bestimmt definierte Art von Diastrophismus, die nach subjektiver Ansicht GILBERTS wohl Festländer usw., aber keine Gebirge schafft. Ist diese subjektive Ansicht nun auch überholt, so bleibt doch der wohldefinierte Kreis der objektiven Vorgänge in alter Art bestehen, und ich sehe nicht die Notwendigkeit ein, ihm die alte Bezeichnungsweise zu nehmen und eine neue statt ihrer einzuführen. Epirogenesen sind, so sagen wir auch jetzt noch im Sinne GILBERTS, die weitspannigen Bewegungen in der Erdkruste, die, wie GILBERT richtig erkannte, Festländer usw. schaffen, — die darüber hinaus zwar auch in gewissen Fällen zur Bildung von Gebirgen führen können. Wollte aber jemand die GILBERTSche Bezeichnung „Epirogenese“, da sie auch einen im Sinne der resultatlichen Definition GILBERTS „orogenetischen“ Vorgang umfassen kann, überhaupt verwerfen, so wäre ihm vielleicht mit den Bezeichnungen „Undation“ und „Undulation“¹¹⁾ gedient, die ich aber nicht als Ersatz für die Bezeichnungen Epirogenese und Orogenese, sondern nur als wortbildliche Veranschaulichung derselben gebrauche.

Orogenese ist nach GILBERT der Kreis der Vorgänge, die im Gegensatz zu den „broader swells“ die „narrower geographical waves“, die Berggestalten, schaffen.

Es gründet sich also auch hier die Definition zunächst auf die entstehenden morphologischen Gebilde. Die Definition nach der Art des Diastrophismus, der zu diesen Gebilden führt, ist jedoch nicht so scharf, wie im Falle der Epirogenese. Aber wenn von den „narrower waves“ im Gegensatz zu den „broader swells“ die Rede ist, oder wenn die Verwerfungen entlang dem Westfuße des Wasatch-Gebirges oder wenn die dislozierenden Vorgänge, die innerhalb des Great Basin den Basin-Range-Typus geschaffen haben,

¹¹⁾ Tektonische Evolutionen und Revolutionen usw: I. c., S. 24.

als orogenetisch angesprochen werden, so wissen wir, daß es sich um jene Vorgänge handelt, die auch nach dem deutschen Sprachgebrauch die „gebirgsbildenden“ sind, nämlich um Faltungen, Überschiebungen, Verwerfungen usw. Allerdings hat sich GILBERT keineswegs dahin ausgesprochen, daß jede Verwerfung ein Erzeugnis der Orogenese wäre, sondern er hat nur in den von ihm herangezogenen Fällen die Verwerfungen deswegen als „orogenetische“ Erscheinungen klassifiziert, weil sie hier „gebirgsbildend“ gewirkt haben.

Die Definition der Orogenese als des äußerlich gebirgsbildenden Vorgangs müssen wir fallen lassen, wie man ja im allgemeinen auch längst getan hat, — nicht etwa, weil die hierunter verstandenen Vorgänge nicht „gebirgsbildend“ wirkten, sondern weil auch ganz andersartige Vorgänge (Epirogenese, „broad movements“) dieses tun.

Damit teilt der Begriff Orogenese das Schicksal des entsprechenden deutschen Wortes „Gebirgsbildung“. — Gewiß hat man darunter anfänglich die Vorgänge verstanden, die „Gebirge bilden“; aber heute denkt man beim Gebrauch dieses Wortes nicht mehr oder doch erst in zweiter Linie an die morphologische Form des Gebirges, sondern an alle die Veränderungen in den gegenseitigen Lageverhältnissen der Gesteinsmassen, die in der Struktur des Untergrundes zum Ausdruck kommen. Und wenn wir bei dem Begriff Orogenese in gleicher Weise verfahren, so entfernen wir uns kaum von der GILBERTSchen Grundidee, denn diese basierte auf der Gegensätzlichkeit zwischen den weitspannenden, oder, wie ich sagen möchte, den „regionalen“¹²⁾ Verbiegungen, wie das Becken des Lake Bonneville sie kennen gelehrt hat, und den „eigentlichen“ tektonischen Vorgängen, wie sie z. B. den Basin-Range-Typus geschaffen haben.

Blicken wir¹³⁾ zurück, so hat also GILBERT in „Lake Bonneville“ die Begriffe Orogenese und Epirogenese in erster Linie im Hinblick auf das morphologische Ergebnis gebraucht; aber daneben stehen für ihn, besonders klar hinsichtlich der Epirogenese, die ganz bestimmten endogenen Vorgänge, die nach seiner Meinung jene morphologischen Ergebnisse zeitigen.

Die Definition nach dem morphologischen Ergebnis ist heute nur noch teilweise verwendbar; wohl aber werden durch die vorgangsartige Definition, wie GILBERT sie wenigstens in dem einen Falle klar ausspricht und wie sie

¹²⁾ „Regional“, weil für weite Gebiete gleichsinnig.

im anderen Falle aus den gegebenen Beispielen zu entnehmen ist, die beiden großen Kategorien tektonischer Vorgänge scharf unterschieden.

II. Unterscheidung von Orogenese und Epirogenese nach im wesentlichen raumartlichen Gesichtspunkten.

A. HAUG.

1. HAUGS Unterscheidung von Orogenese und Epirogenese.

Wenn wir HAUGS Definition von Orogenese und Epirogenese verstehen wollen¹³⁾, so müssen wir vom Begriff der Geosynklinalen, wie er ihn auffaßt, ausgehen. Sie sind nach ihm besonders mobile Zonen der Erdkruste, stets gelegen zwischen zwei relativ stabilen Massen. Sie sind nach ihm ferner bis zu ihrer Auffaltung marine Depressionen von ziemlich beträchtlicher Tiefe (Géosyncl. S. 632). Alle tektonischen Vorgänge verlaufen nach ihm in den Geosynklinalen longitudinal (posthum zum älteren Untergrunde), und schon hierdurch unterscheiden sie sich von Senkungsräumen ganz anderer Art, den HAUGSchen „Aires d'Ennoyage“, die durch Quersegmentierung gefalteter Zonen entstehen. Zwischen diesen liegen als transversale Hebungszonen die „Aires de Surélévation“¹⁴⁾.

Die Bezeichnung „Ennoyage“ soll nach einer mündlichen Mitteilung von J. CORNET im Kohlenbecken von Mons beheimatet sein. Man versteht darunter die auch sonst in gefalteten Gebirgen häufig zu beobachtende Erscheinung, daß die Achsen der Sättel und Mulden auf gewisse Erstreckung quer zu ihrem Streichen einsinken, um sich weiterhin wieder herauszuheben. Das sind Erscheinungen, die sich in vielen Fällen durch eine Art von Querfaltung, die sich mit der Hauptfaltung vergittert, erklären lassen. Solche Erscheinungen haben wir ja auch in ausgedehntem Maße

¹³⁾ EMILE HAUG, Les Géosynclinaux et les Aires continentales. Bull. Soc. géol. France, 1900, 3. Serie, Bd. XXVIII, S. 617 ff.

Derselbe, Traité de Géologie, Paris 1907—1911.

¹⁴⁾ „Je propose d'appeler aire de surélévation toute partie d'un faisceau de plissement dans laquelle les axes des plis sont portés à une altitude maximum et aire d'ennoyage toute partie du même faisceau dans laquelle les axes se trouvent à leur minimum d'altitude.“ (HAUG, Géosynclinaux, S. 666/667.)

in unseren mitteleuropäischen Schollengebirgen als Interferenzwirkung zwischen herzynischer und rheinischer Gebirgsbildung. Von Achsenbuckeln und Achsenenken habe ich dort gesprochen, und die Achsenenken sind etwa vergleichbar den „Ennoyages“ im belgischen Carbon.

Auch nach HAUG bilden sich die Aires de Surélévation und Aires d'Ennoyage vielfach schon bei der Hauptfaltung (Géosyncl. S. 669). Bei unseren jetzigen Betrachtungen kommt es aber auf diejenigen Segmentierungen gefalteter Zonen durch Hebungs- und Senkungserscheinungen an, die der Faltung folgen. Es bilden sich allmählich Senkzonen aus, in die das Meer eindringt oder die auch dann, wenn sie kontinentalen Charakter behalten, zu Stätten der Sedimentation werden. Sie liegen zwischen anderen Querzonen, die in eine Aufwärtsbewegung geraten. Das sind die eigentlichen Aires d'Ennoyage und Aires de Surélévation bei HAUG, und am besten übersetzen wir diese Worte in diesem zweiten Sinne wohl mit „Quersenke“ (Transversalsenke) und „Querschwelle“ (Transversalschwelle)¹⁵⁾. HAUG hatte die deutsche Übersetzung „Aufaltungsfeld“ und „Einfaltungsfeld“ vorgeschlagen (Géosyncl. S. 667, Anm. 1). Das klassische Beispiel einer derartigen Transversalsenke ist für HAUG das Pariser Becken, das einer Einsenkung quer zum armorikanisch-variszischen Streichen seine Entstehung verdankt; eine andere Aire d'Ennoyage großen Stils ist für ihn das germanische Triasbecken in seiner im großen und ganzen meridionalen Erstreckung von der Provence bis zur Nordsee (Traité, S. 918).

Nach HAUG sind nun Epirogenese und Orogenese im wesentlichen nach der Art der Räume zu trennen, in denen sie sich ereignen, und zwar hat die Orogenese ihren Schauplatz in den Geosynklinalen. Hier geht die Faltung vor sich, und Orogenese ist für HAUG (Traité, S. 15) zunächst die Zusammenpressung bestimmter Zonen unter der Wirkung seitlichen Druckes. Aber nicht nur die Faltungen, sondern alle tektonischen Bewegungen in den Geosynklinalen sind

¹⁵⁾ Unter Zugrundelegung der in Kapitel III zu entwickelnden Definition von „orogenetisch“ und „epirogenetisch“ sind die Aires de Surélévation und Aires d'Ennoyage, soweit sie zusammen mit der Faltung entstehen, orogenetische Quersättel und Quermulden, dagegen die Aires de Surélévation und Aires d'Ennoyage im engeren Sinne, die sich infolge nachträglicher säkularer Segmentierung gefalteter Zonen bilden, epirogenetische Querschwellen und Quersenkungen.

Orogenesen oder doch Vorläufer oder Nachklänge solcher, und dabei ist HAUG (siehe oben) der Ansicht, daß die geosynklinalen Bewegungen durchweg longitudinal (posthum) zu den älteren Falten verlaufen und also die Geosynklinalen nie quer zu ihrem Verlaufe (Traité, S. 508) segmentiert sind.

Orogenetische Ereignisse sind somit auch die säkulären Absenkungen der Geosynklinalen und die Entstehung der Mittelschwellen in ihnen, d. h. solche Vorgänge, die zunächst als rein vertikale Oszillation erscheinen, mag diese Oszillation abwärts (Absenkung der Geosynklinalen) oder aufwärts (Entstehung der Mittelschwellen) gerichtet sein.

Sind die orogenetischen Bewegungen an die Geosynklinalgebiete gebunden, so die epirogenetischen an die Festländer.

„Epirogenetische Bewegungen, d. h. die vertikalen, und zwar sowohl positiven wie negativen Oszillationen der Kontinentalgebiete“, so lesen wir im Traité de Géologie (S. 512). Diese Bewegungen führen zu einer Segmentierung der Faltenzonen innerhalb der Kontinentalgebiete, d. h. zur Bildung von Aires de Surélévation und Aires d'Ennoyage. So heben sich z. B. durch epirogenetische Vorgänge in der Faltungszone Balkan—Kaukasus diese beiden Gebirge heraus, während das Zwischenstück zwischen ihnen in die Tiefe sinkt und der Pontus entsteht. Die epirogenetischen Oszillationen sind also auch bei HAUG, wie wir sehen, sowohl positiver als auch negativer Art. So spricht er bei der Erörterung eines möglichen Zusammenhanges von Epirogenese und Vereisung von den epirogenetischen Hebungen, die zu Vereisungen führen, und den epirogenetischen Senkungen, die die Gletscher abschmelzen lassen. Von den orogenetischen Vorgängen unterscheiden sie sich im wesentlichen dadurch, daß sie senkrecht zur Struktur des Untergrundes gerichtet sind. „Die epirogenetischen Bewegungen, d. h. die Surélévations und Ennoyages, die transversal zu älteren Faltungszonen eingetreten sind“, so heißt es z. B. im Traité, S. 734.

Von der Unterscheidung der orogenetischen Vorgänge als derjenigen in den Geosynklinalen und der epirogenetischen als derjenigen in den Festlandsschwellen einschließlich der Aires d'Ennoyage macht nun HAUG die Ausnahme, daß die posthum, also longitudinal, gerichteten Bewegungen auch in den Aires d'Ennoyage als orogenetisch zu gelten haben. Das sagt er deutlich z. B. in bezug auf die typische Aire d'Ennoyage des Pariser Beckens, indem er (Traité, S. 1574) die „mouvements orogéniques parallèles à la direction des

anciens plis" von den „mouvements épirogéniques perpendiculaires à cette direction“ unterscheidet. Und damit wird in der HAUGSchen Praxis das Longitudinale oder Transversale der Vorgänge zum wesentlichen Unterscheidungsprinzip¹⁶⁾. Das sehen wir deutlich, wenn wir im *Traité de Géologie* bei den einzelnen Formationen die Kapitel über Orogenese und Epirogenese nachlesen.

Nehmen wir z. B. das Devon (*Traité*, S. 729 ff.). Die jungsilurische Faltung hatte das Meer aus dem ehemaligen Geosynklinalraume des heutigen Brabanter Massivs und der Ardennen verdrängt; schrittweise kehrt es hierher zurück, zum Teil schon im Gédinnien, dann im unteren Mitteldevon, dann im oberen Mitteldevon; daß es sich dabei im allgemeinen parallel zu den jungsilurischen Falten vorschiebt, ist für HAUG der Ausdruck für den orogenetischen Charakter jener tektonischen Bewegungen, die die neue Überflutung ermöglichten. Auch im Timan und im Ural steht, wie HAUG meint, die mitteldevonische Transgression mit orogenetischen Bewegungen in Zusammenhang, denn Timan und Ural sind nach STÜESS Gebilde auf altem Plane. Aus ähnlichem Grunde sollen in Asien die Bewegungen, die die mitteldevonische Transgression herbeigeführt haben, orogenetischer Art sein, wie auch diejenigen am Südwestrande des kanadischen Schildes, wo die synklinale Depression etwa parallel zu den vorkambrischen Falten liegt. In Brasilien ist nach KATZERS Aufnahme die Ingression des Devonmeeres parallel zu den alten Falten erfolgt; also handelt es sich, wie HAUG sagt, um eine orogenetische und nicht um eine epirogenetische Bewegung. Und so geht es weiter. Immer sind die abwärtigen Oszillationen, die das Meer vorrücken lassen, dann orogenetischer Art, wenn sie posthum zum Streichen der vorausgegangenen Faltung verlaufen. Umgekehrt ereigneten sich gleichzeitig in England Bewegungen transversal zu den älteren Faltungen und führten zu Verlegungen der Uferlinien; das sind Bewegungen epirogenetischer Art.

Oder betrachten wir HAUGS Ausführungen über die tektonischen Bewegungen in der Triaszeit (*Traité*, S. 918).

¹⁶⁾ Vgl. z. B. auch *Traité* S. 508. „Les zones de plissements . . . peuvent présenter à la fois des mouvements orogéniques posthumes, parallèles à la direction des plis anciens, et des mouvements épirogéniques, sous la forme de surélévations transversales à cette direction.“

In der Trias entstehen Geosynklinalen, die mit denen des Paläozoikums im wesentlichen zusammenfallen, nur schmaler sind; ihre Entstehung ist wegen der Parallelität der Achsen nach HAUG ein orogenetischer Vorgang. Andererseits ist das Becken der germanischen Trias, da es sich im wesentlichen quer zum variscischen Streichen erstrecken soll, ein Gebilde epirogenetischer Entstehung, und epirogenetische Bewegungen vertieften auch das Becken in der Muschelkalkzeit.

Eine Unterscheidung von orogenetischen und epirogenetischen Vorgängen hinsichtlich der Zeitlichkeit ihres Eintretens findet sich bei HAUG nicht, im Gegenteil sind sie für ihn gleichzeitige Erscheinungen, die sich nur in verschiedenen Räumen und über verschiedenartigem Untergrunde abspielen. „Die orogenetischen Bewegungen sind begleitet von gleichzeitigen epirogenetischen, die im allgemeinen senkrecht zu ihnen stehen, doch mit umgekehrtem Vorzeichen“, — so sagt HAUG im *Traité*, S. 507, und schon in der Fundamentalarbeit aus dem Jahre 1900 hatte er die epirogenetischen Bewegungen der Kontinentalschwellen und die orogenetischen der Geosynklinalen als gleichzeitig, „wenn auch mit umgekehrtem Vorzeichen“, charakterisiert.

2. Einwendungen gegen HAUGS Unterscheidung von Orogenese und Epirogenese.

Gegen die HAUGSche 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 GILBERTSchen Begriffe nicht gerecht wird.

Zu 1. HAUG spricht von den im Streichen verlaufenden orogenetischen und den orthogonal dazu sich vollziehenden epirogenetischen Bewegungen. Wie aber steht es mit den Mittelrichtungen? Sind die Bewegungen, die ihnen folgen, epirogenetischer oder orogenetischer Art? Wenden wir das HAUGSche Prinzip z. B. auf die jüngere deutsche Gebirgsbildung an, so wäre natürlich in West- und Mitteldeutschland jegliche herzynische (herzynisch im Sinne von ЛЕОР. v. БУХ gleich südost-nordwestlich) Bewegung von epirogenetischer Art, dagegen wären die tertiären südwest-nordöstlichen Bewegungen, wie wir sie im Oberrheingebiete

und zurücktretend auch in Mitteldeutschland kennen, orogenetischer Art, denn sie folgen dem variszischen Streichen des Untergrundes. Wie ist aber die „rheinische“ Gebirgsbildung in Mitteldeutschland, die spießbeckig zur variszischen verläuft, zu klassifizieren? Sie ist in der Praxis HAUGS weder orogenetisch noch epirogenetisch, denn sie ist nicht streichend in bezug auf den älteren Untergrund und auch nicht orthogonal zu diesem; trotzdem wird HAUG sie wohl als epirogenetisch ansprechen, wie sich ja überhaupt das ehemalige germanische Triasbecken wegen seiner annähernd meridionalen Haupterstreckung als eine Aire d'Ennoyage charakterisieren soll. Überhaupt wird man sagen, daß man den Begriff orthogonal nicht mathematisch fassen darf, da ja ganz allgemein das Streichen Schwankungen unterliegt, — und ich will auch gern einerseits dem variszischen Streichen, dessen Wiederholung die Vorgänge als orogenetische kennzeichnet, und andererseits dem Streichen senkrecht dazu, dem Streichen der angeblich epirogenetischen Vorgänge, einen gewissen Spielraum geben; aber irgendwo muß man doch schließlich die Grenze setzen, wenn man nach der Richtung Orogenese und Epirogenese unterscheiden soll. Wie wenig weicht ferner weithin das rheinische Streichen, z. B. im Oberrheingebiet, vom variszischen ab, wie häufig biegt es in dieses ein und erscheint geradezu als eine posthume Wiederholung des variszischen Streichens! Wo ist denn hier die Grenze zwischen orogenetischen und epirogenetischen Vorgängen, wenn wir das Prinzip HAUGS zugrunde legen wollen? Und überhaupt haben wir in der großen deutschen sog. Aire d'Ennoyage, trotz Vorherrschens gewisser Richtungen, tektonische Bewegungen in allen Zwischenrichtungen und immer wieder beobachten wir die Einlenkung tektonischer Gebilde aus der einen Richtung in die andere, so daß man unmöglich hier, ohne den Dingen Gewalt anzutun, eine Scheidung im Sinne HAUGS vornehmen könnte. Die HAUGSchen Vorstellungen sind ja zum guten Teil im Pariser Becken beheimatet, wo schon HÉBERT¹⁷⁾ im Jahre 1876 von „perpendikulären“ Faltungen gesprochen und wo insbesondere MARCEL BERTRAND¹⁸⁾ die beiden Systeme der „Hauptundulationen“ und der „Querundulationen“, die hier

17) HÉBERT, Ondulations de la Craie dans le Nord de la France. Ann. des Sciences géolog., VII, Nr. 2, Paris 1876.

18) MARCEL BERTRAND, Sur la Continuité du phénomène de plissement dans le Bassin de Paris. Bull. Soc. géol. France, 3. Serie, Bd. XX, 1892, S. 118 ff.

etwa parallel zu den Breiten- und Längengraden liegen, unterschieden hatte. Doch auch im Pariser Becken ist, wie **TERMIER** in seinem Nachrufe auf **MARCEL BERTRAND**¹⁹⁾ hervorhebt, die Bestätigung des von **MARCEL BERTRAND** verallgemeinerten Gesetzes des Doppelsystems orthogonaler Linien nicht überall zutreffend, und so scheint auch **MARCEL BERTRAND** nach **TERMIERS** Auffassung diese „Systématisation un peu chimérique“ später aufgegeben zu haben, denn man findet in seinen jüngeren Schriften kein Wort mehr darüber. Und mögen wir trotzdem das Unterscheidungsprinzip **HAUGS** unter den einfacheren Verhältnissen des Pariser Beckens als zur Not durchführbar ansehen, so versagt es in anderen Aires d'Ennoyage, wo sich die Verhältnisse komplizieren, wie z. B. in Mitteldeutschland.

Und nun weiter.

Das variszische Streichen ist infolge der Bogenform des jungpaläozoischen Gebirges westlich der Elbe nach Nordosten, östlich der Elbe aber nach Nordwesten gerichtet. Damit verlaufen die herzynischen (nordwestlichen) Brüche und Falten westlich der Elbe senkrecht, in ihrer Fortsetzung östlich der Elbe, z. B. in den Sudeten, aber posthum zu den variszischen. Also wären nach der **HAUGS**chen Bezeichnungswiese die gleichartigen und gleichgerichteten tektonischen Bewegungen im Raume östlich der Elbe von orogenetischer, im Raume westlich der Elbe von epirogenetischer Art.

Und noch etwas anderes.

Das germanische Zechsteinmeer, der Vorläufer des germanischen Triasbeckens, gilt für **HAUG** als epirogenetische Aire d'Ennoyage. „Das Becken der Zechsteinzeit ist epirogenetischer Entstehung, denn es liegt in der Transversal-depression zwischen Ardennen und Böhmischer Masse“ (*Traité*, S. 836). Damit hat **HAUG** aber nur einen recht kleinen Teil des Zechsteinbeckens im Auge, das in seiner Haupterstreckung von Polen und Schlesien bis nach Holland und England in bezug auf das variszische Gebirge keine Aire d'Ennoyage, sondern ein longitudinales Gebilde ist und damit in diesem Teile orogenetischer Entstehung sein würde. Aber auch in dem **HAUG** vorschwebenden Teile zwischen Rheinischer und Böhmischer Masse ist die Umrandung nur zum Teil renegant (Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges), zum Teil aber, wie in der allgemeinen Linie Niederschlesien—

¹⁹⁾ P. **TERMIER**, **MARCEL BERTRAND**, Paris 1908, S. 40 u. 41.

Leipzig—Nordschwaben von longitudinalem Verlaufe. Also ist das Zechsteinbecken auch hier kein rein epirogenetisches Gebilde im Sinne HAUGS, sondern mindestens haben orogenetische (d. h. posthume) und epirogenetische (d. h. in unserem Falle renegante) Bewegungen zusammengewirkt. Aber wo läge denn innerhalb eines nach Südwesten sich schließenden Beckens, dessen Südkontur durch orogenetische, dessen Westkontur durch epirogenetische Bewegungen bedingt sein würde, die Grenze des orogenetischen und des epirogenetischen Senkungsvorganges?

Ebensowenig ist das germanische Triasbecken als Ganzes ein einwandfrei epirogenetisches Gebilde nach dem HAUGSchen Bezeichnungsmodus. Vielmehr verläuft seine Südostkontur von den Sudeten über das Vogtland und das nordöstliche Bayern bis nach Südschwaben im wesentlichen longitudinal, und longitudinal ist vor allen Dingen wieder die Haupterstreckung von Oberschlesien durch Norddeutschland nach Holland und England. Gewiß liegt die südliche Fortsetzung bis hin zur Provence und zum Mittelländischen Meere im wesentlichen senkrecht zum variszischen Streichen, aber nach der räumlichen Ausdehnung ist das nur ein kleines Anhängsel an dem großen, im wesentlichen longitudinalen Becken Ost-, Mittel- und Norddeutschlands, Hollands und Englands. Wieder ergibt sich aber bei derartig konturierten Räumen die Schwierigkeit der Abgrenzung des „epirogenetischen“ von dem „orogenetischen“ Senkungsvorgange.

Ich wende also gegen das HAUGSche Unterscheidungsprinzip zunächst ein, daß es in praxi nicht durchführbar ist, wenn man nicht unzweifelhaft zusammengehörige Dinge trennen und ganz gekünstelte Schnitte legen will. Insbesondere kommt es dabei auf folgendes an:

- a) Außer den posthumen und transversalen tektonischen Erscheinungen gibt es solche nach Zwischenrichtungen. Wie sind diese zu klassifizieren?
- b) Falten und Verwerfungen können aus der longitudinalen Richtung ganz allmählich in die transversale oder in mittlere Richtungen einbiegen; sie wären also auf gewisse Erstreckung als orogenetisch, auf andere Erstreckung als epirogenetisch zu bezeichnen.
- c) Dasselbe gilt auch für solche geradlinig fortsetzende und einheitliche Systeme von Dislokationen, die infolge der Bogenform im Streichen des älteren Untergrundes bald posthum, bald renegant zu diesem liegen.

- d) Wir haben Senkungsräume von teils longitudinaler, teils transversaler, teils spießbeckiger Umrandung. Hier müßte also der einheitliche Senkungsvorgang zum Teil als orogenetisch, zum Teil als epirogenetisch klassifiziert werden, und die räumliche Grenze zwischen der orogenetischen und der epirogenetischen Absenkung wäre gänzlich willkürlicher Art, besonders in dem Winkel zwischen einer longitudinalen und einer renegeanten Kontur.

Zu 2. Die HAUGSche Unterscheidung von Oro- und Epirogenese entspricht in vielfacher Hinsicht nicht der historischen Bedeutung dieser Bezeichnungen, wie wir sie bei GILBERT finden. GILBERT verstand ja unter Epirogenese die Bildung der „broader swells“ des Bodens im Gegensatz zur Entstehung der „narrower waves“; aber die transversalen Wellen des Pariser Beckens sind ganz gewiß keine „broader swells“, sondern ebensogut „narrower waves“, wie die dortigen longitudinalen Falten; daß dabei die Faltung in der transversalen Richtung nicht so intensiv ist, wie in der longitudinalen, kommt für die Bezeichnungsart nicht in Betracht. Und nun gehe man zum germanischen Becken und betrachte die große Schar der nordwestlich gerichteten Falten, die, da transversal zum variszischen Streichen gerichtet, epirogenetisch sein müßten. Sie alle sind aber typische orogenetische Gebilde im Sinne GILBERTS.

Andererseits werden typische Gebilde großwelliger Verbiegung bei der HAUGSchen Unterscheidungsweise als orogenetisch klassifiziert, und ich verweise da nur auf die Geosynklinalen. Der Typus des epirogenetischen Gebildes ist die Hohlform des Bonneville-Basins, und eingeführt wird die Bezeichnung epirogenetisch geradezu für die weit-ausholenden Verbiegungen, die „Kontinente und Plateaus, ozeanische Becken und kontinentale Basins“ schaffen. Wenn also HAUG die Geosynklinalen als orogenetische Gebilde anspricht, so gebraucht er in solchem Falle diese Bezeichnung in direktem Widerspruch zu dem, was GILBERT darunter verstanden hatte, denn nach der GILBERTSchen Definition sind die Geosynklinalen ebensogut epirogenetischer Entstehung, wie die Quersenzen nach Art des Pariser Beckens, die auch HAUG als epirogenetisch bezeichnet. Die mit jungen Bildungen aufgefüllten Hohlformen des Bonneville-Basins und überhaupt des Great Basin haben doch sicher ihre Hauptstreckung im Streichen der Faltung der nord-amerikanischen Kordilleren, d. h. sie sind Gebilde von vor-

wiegend longitudinaler Art. Damit wäre aber dieses Urbild der GILBERTSchen Epirogenese unter Zugrundelegung der HAUGSchen Unterscheidungsweise ein **orogenetisches Gebilde**.

B. DACQUÉ.

Nur mit einem der Autoren, die in der Unterscheidung von Orogenese und Epirogenese im wesentlichen den HAUGSchen Gedankengängen folgen, möchte ich mich hier befassen, und zwar mit E. DACQUÉ. Nach Seite 106 seines in vielfacher Hinsicht sehr schätzenswerten Buches „Grundlagen und Methoden der Paläogeographie“²⁰⁾ ist die Orogenese mit auf- und abwärtigen Bewegungen der labilen Zonen der Erdkruste, den sog. „Geosynklinalbewegungen“, verknüpft. „Diese trennen wir von den epirogenetischen ab.“ Damit sind also für DACQUÉ, ganz im Sinne HAUGS, die säkularen Absenkungen der Geosynklinalen Vorgänge von orogenetischer Art. In einem späteren Kapitel (S. 133) sind aber die orogenetischen Bewegungen nicht nur dadurch charakterisiert, daß sie sich in echten Geosynklinalen ereignen, sondern auch durch ihren „alpinen“ Charakter (siehe unten).

Was nun zunächst den Begriff Geosynklinale anlangt, so nimmt zwar DACQUÉ auf Seite 127 die von mir gegebene Definition der Geosynklinale als „eines säkulär sinkenden Sedimentationsraumes“ zunächst an²¹⁾; eine „echte“ Geo-

²⁰⁾ E. DACQUÉ, Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. Jena 1915.

²¹⁾ Daß „als notwendige Ergänzung zu dieser Definition noch die Komplementärbewegung, die säkuläre Hebung im Wechsel mit der säkulären Senkung“ hinzukommen müsse, ist aus der Geschichte der Geosynklinalen m. E. nicht erweisbar. Gewiß können säkuläre Hebungen in geosynklinalen Zonen auftreten, so z. B. bei der Ausbildung von Mittelschwellen, auf die HAUG als erster hingewiesen hat; auch in den Randzonen der Geosynklinalen wechseln unter Umständen mit säkulären Senkungen säkuläre Hebungen ab, was hier in vorübergehenden Regressionen zum Ausdruck kommt. Auch unter anderen Verhältnissen mag es einmal zu säkulären Aufwärtsbewegungen innerhalb geosynklinaler Räume kommen, aber ganz gewiß sind sie nicht notwendige Komplementärbewegungen, die gleich den Abwärtsbewegungen zum Wesen der Geosynklinalen gehören. So stimme ich auch nicht der Änderung zu, die DACQUÉ (S. 128) an dem von mir gegebenen Zyklus der Vorgänge in Geosynklinalgebieten (Senkung und Sedimentation — Faltung — Einebnung und Versinken der Falten — Senkung und Sedimentation usw. Vgl. Tekt. Evol. u. Revol., a. a. O., S. 13) vor-

synklinale muß allerdings noch weiteren Bedingungen genügen²²⁾, nämlich erstens „müssen mit ihrer Vertiefung Regressionen, mit ihrer Verflachung Transgressionen überall in den außerhalb liegenden Gebieten sich einstellen“ (HAUGSches Gesetz) und zweitens müssen in ihr Faltungen von „alpinem“ Typus auftreten. Dabei werden zwar hinsichtlich beider Kriterien Einschränkungen gemacht, denn nach S. 130 ist das erstere ein Gesetz, „von dem es im einzelnen oft Ausnahmen gibt“, „welche zwar der allgemeinen Regel keinen Eintrag tun“, und nach Seite 129 ist die alpine Faltung nur „ein häufiges, wenn auch nicht

nimmt, indem er nach „Senkung und Sedimentation“ für „Faltung“, wie ich sagte, „Hebung evtl. bis zur Faltung“ einsetzt. Gewiß kommt es vor, daß den Faltungen Verflachungen der Geosynklinalen vorangegangen sind, wie solche auch zu anderen Zeiten eintreten, in manchen Fällen vielleicht infolge von Hebung, in anderen aber infolge von Überwiegen des Sedimentationsbetrages über den Senkungsbetrag. Aber selbst wenn die zuweilen vor der Faltung eingetretene Verflachung mit einer säkulären Hebung zusammenhing, so war diese Hebung ihrem Betrage nach — verglichen mit der Hebung bei der nun einsetzenden Faltung — so gering, daß man unmöglich die Faltung als eine etwas fortgeschrittene säkuläre Hebung ansprechen kann. Dazu ist sie ein ganz andersartiger Vorgang. Sie erfolgt unter weitgehendsten tektonischen Verschiebungen innerhalb der aufsteigenden Massen, während die säkulären Hebungen das innere Gefüge des Bodens unverändert lassen.

Auch MACHATSCHKE (a. a. O., S. 13 und Fig. 2) will in dem von mir gegebenen Schema zwischen der epirogenetischen Senkung und der orogenetischen Phase (Faltung) eine „epirogenetische Hebung“ einschalten; aber hinsichtlich des Belegmaterials, das er in der nacholigocänen Geschichte des deutschen Bodens zu finden glaubt, kann ich ihm unmöglich folgen, vielmehr ergibt sich z. B. im Fall der jungmiocänen Gebirgsbildung, daß in dem damals schon sehr reduzierten Becken (Nordhannover usw.) die starke Sedimentation, d. h. die Senkung, bis zum Eintritt der Gebirgsbildung angehalten hat. Auch mit der von MACHATSCHKE vorgenommenen Einschaltung einer (nach seinem Schema recht langzeitigen) „tektonischen Ruhe“ zwischen der „rogenetischen Phase“ und der erneuten „epirogenetischen Senkung“ kann ich nicht einverstanden sein; jedenfalls ist es eine bemerkenswerte Erscheinung in der Erdgeschichte, daß oft die Gebirge bald nach ihrer Entstehung ganz oder teilweise wieder versinken. (H. STILLE, Tekt. Evol. und Revol., a. a. O., S. 11—13.)

²²⁾ S. 127 seines Buchs lehnt DACQUÉ mit mir ab, daß man den Begriff Geosynklinale mit allerlei Forderungen belaste, — dafür belastet er ihn weiterhin aber selbst wieder, und zwar mit Forderungen, die auch nach ihm nicht einmal unbedingt zutreffen brauchen.

absolut notwendiges Kennzeichen", das ja z. B. in der „Geosynklinale von Mozambique“²³⁾ fehlt.

Ich sehe bei DACQUÉ von neuem die Unmöglichkeit einer strengen und das logische Empfinden befriedigenden Abgrenzung sogenannter „echter“ Geosynklinalen von den übrigen säkular sinkenden Räumen, und in erster Linie diese Unmöglichkeit hat mich veranlaßt, den Begriff Geosynklinale sehr weit zu fassen. Ist so die erste Bedingung für den orogenetischen Charakter der Vorgänge, nämlich die Entstehung in „echten“ Geosynklinalen, schon wegen der unzureichenden Definition einer „echten“ Geosynklinale anfechtbar, so ist in besonderem Maße anfechtbar die zweite Forderung, nämlich diejenige des „alpinen“ Faltungscharakters im Sinne DACQUÉS. Denn hier handelt es sich um höchst subjektive Vorstellungen, hinsichtlich deren DACQUÉ wohl kaum große Gefolgschaft finden wird, die aber sicher recht ungeeignete Unterlagen für terminologische Unterscheidungen sind.

„Alpine“ Faltung ist nämlich nach DACQUÉ eine solche, bei der nicht Zerrung oder seitlicher Druck, sondern innere Kräfte (thermische Vorgänge und chemisch-physikalische Gesteinsumsetzungen in deren Gefolge) wirken! Der tangentielle Druck wird deswegen abgelehnt, „weil er die Geosynklinale eher hinabpressen als sie heben müßte“, trotzdem m. E. das Ausweichen des durch tangentialen Druck auf geringeren Breitenraum gebrachten Geosynklinalinhalts in den Höhenraum, d. h. also das Aufsteigen desselben, eine nicht gerade unfaßbare Vorstellung ist.

Epirogenetisch sind für DACQUÉ, kurz gesagt, alle nicht orogenetischen Vorgänge. Zu ihnen gehören nach S. 106 „alle jenen einfachen vertikalen Auf- und Ab-

²³⁾ Daß DACQUÉ die „Geosynklinale von Mozambique“ als echte Geosynklinale gelten läßt und sogar mit Rücksicht auf sie eines seiner Kriterien für eine echte Geosynklinale durchlöchert, ist wohl auf das Vorbild HAUGS zurückzuführen, für den die mesozoische Senke zwischen Afrika und Madagaskar wegen ihrer Lage zwischen den beiden Landmassen ein Beispiel einer echten Geosynklinale ist. Aber dabei lehnt doch DACQUÉ die Lage zwischen zwei Kontinentalmassen als irrelevant für den Begriff der Geosynklinale ab. Die alte Geosynklinale von Mozambique ist m. E. nach ihrer Art und Geschichte nichts anderes, wie viele Einsenkungen in ehemaligen Kontinentalgebieten, die, mag ich selbst sie auch als „säkular sinkende Räume“ zu den Geosynklinalen stellen, nach DACQUÉ doch gewiß nicht zu diesen, wenigstens nicht zu den „echten“ Geosynklinalen, sondern zu den Aires d'Ennuyage zu rechnen sind.

bewegungen, Hebungen und Senkungen an Brüchen, Schleppungen, welche nicht den Charakter von Faltengebirgsbildung alpiner Art haben und nicht Geosynklinalgebieten und deren Bewegungsmechanismus angehören".

Epirogenetisch ist für DACQUÉ die saxonische Gebirgsbildung²⁴⁾, denn er läßt das Niederdeutsche Becken zwar als Geosynklinale kurz hin, jedoch nicht als „echte“ Geosynklinale gelten. Aber die Konsequenz seiner Gedankengänge führt m. E. sogar soweit, die Falten des Schweizer Juras nicht als orogenetische, sondern als epirogenetische Gebilde anzusprechen. Denn nach ihm ist die Faltung des Schweizer Juras nicht eine solche aus „innerer“ Ursache nach „alpiner“ Art, sondern eine Verbiegung von Sedimenttafeln durch tangentialen Druck, der durch Andrängen der benachbarten alpinen Faltenwellen sekundär erzeugt wurde; gegen den „alpinen“ Charakter spricht hier nach DACQUÉ das Fehlen einer kristallinen Kernzone.

Ich glaube, daß Vorstellungen, die konsequenterweise dazu führen müssen, sogar die Faltung des Schweizer Juras als epirogenetisch zu klassifizieren, weiterer Widerlegung nicht bedürfen.

²⁴⁾ Abgesehen von der Verschiedenartigkeit der entstandenen Gebilde soll nach DACQUÉ das Wesen der sogenannten Rahmenfaltung in einer Abwärtsbewegung, dasjenige einer alpinen geosynklinalen Faltung in einer Aufwärtsbewegung liegen: „STILLE sagt selbst, daß z. B. die sogenannte Rahmenfaltung um so intensiver ist, je tiefer das von ihr betroffene Feld liegt“ (DACQUÉ, S. 132). Aber die „Tiefenlage“ der stärker gefalteten Felder ist doch keine Folge der Rahmenfaltung, sondern, wie ich nachdrücklich ausgeführt habe, eine Folge der vor der Rahmenfaltung oder auch zwischen den einzelnen Faltungsphasen eingetretenen Beckeneinsenkung, der die Faltung folgte; die Rahmenfaltung war aber verknüpft mit einer Aufwärtsbewegung des Beckeninhalts, — das habe ich mehrfach mit besonderem Nachdruck hervorgehoben, und darin liegt überhaupt der Kernpunkt der ganzen Deutung der saxonischen Gebirgsbildung als einer „Faltung“. Die Aufwärtsbewegung konnte zwar nicht, ebensowenig wie in den „echten“ Geosynklinalen, den Betrag der vorausgegangenen Beckenabsenkungen ganz kompensieren, so daß die Senkungsfelder trotz der Aufwärtsbewegung in den Faltungsphasen noch „gesunken“ gegenüber den Rahmen sind, wie auch in den weitesten Teilen der Alpen das Grundgebirge infolge der langen geosynklinalen Absenkung trotz der in den Faltungsphasen erfolgten Hochbewegungen noch viel tiefer liegt, als in den umrahmenden Massen. Ich verweise DACQUÉ auf die Ausführungen über die saxonische „Faltung“ in Zeitschrift d. D. Geol. Ges. f. 1913, Mon.-Ber., S. 575 ff., wo die Aufwärtsbewegung bei der saxonischen Gebirgsbildung

Daß sich DACQUÉ in noch weit stärkerem Maße als HAUG in Widerspruch mit den Begriffsdefinitionen GILBERTS befindet, ist nicht zu verwundern. Selbstverständlich würden nach seiner Definition z. B. die Bergzüge des Großen Beckens und das Wasatchgebirge, d. h. die Urtypen der Orogenese in der GILBERTSchen Fundamentalarbeit, epirogenetische Gebilde sein.

III. Unterscheidung von Orogenese und Epirogenese nach Vorgangsart und zeitlichen Verhältnissen.

A. Ablehnung von Raumart und morphologischem Ergebnis als grundsätzlich anwendbare Unterscheidungsprinzipien.

HAUG und DACQUÉ stellen, wie wir im vorangegangenen Kapitel gesehen haben, bei der Unterscheidung von zwei großen Kategorien tektonischer Vorgänge, die sie als Orogenese und Epirogenese bezeichnen, das räumliche oder richtiger raumartige Moment in den Vordergrund; und zwar unterscheidet HAUG hauptsächlich nach Raumart und Richtung, DACQUÉ nach Raumart und Kausalität.

auch an der Hand schematischer Skizzen (Fig. 2 auf S. 581, Fig. 3 auf S. 582, Fig. 5 auf S. 586) veranschaulicht worden ist. Ein weiterer Gegensatz zu den alpinen Bewegungen soll darin liegen, daß die saxonischen Rahmen (Rhein. Masse, Böhmischerzynische Masse) gehobene, die saxonischen Faltungsbezirke gesunkene Felder seien. Aber dieses Heben der Rahmen und Sinken der Faltungsbezirke bezieht sich, wie von mir ausgeführt wurde, nur auf die Zeiten vor und zwischen den Faltungsphasen, — und nicht anders verhielten sich auch die Rahmen und Sedimentationsräume des heutigen Alpenbogens. Daß mich DACQUÉ hinsichtlich der Unterscheidung dessen, was einerseits vor und zwischen den Faltungen (als epirogenetische Vorgänge in meiner Anwendungsart dieses Wortes) und was andererseits durch die Faltungen (als orogenetische Vorgänge in meiner Anwendungsart dieses Wortes) geschah, nicht verstanden hat, ergibt sich auch aus dem angeblich dritten fundamentalen Gegensatz der saxonischen Gebirgsbildung zur alpinen, der darin liegen soll, daß der „Rohbau“ des deutschen Bodens (Rahmen und gerahmte Felder zusammen) „ein durch seitlichen Druck in flache Wellen gelegtes Areal“ sei, während in den alpinen Gebieten die Faltung „im wesentlichen nur in der Geosynklynalregion, und zwar nach aufwärts“ vor sich ginge. Bei dem Rohbau handelt es sich doch nur um die (epirogenetischen) Vorgänge vor und zwischen den Faltungsphasen, die im Alpengebiet nicht viel anders verlaufen sind, und nicht um Faltungen, die in den saxonischen Gebieten ebenso, wie DACQUÉ von den alpinen sagt, nach aufwärts gerichtet waren.

Gewiß ereignen sich die „Gebirgsbildungen“ in erster Linie in den Geosynklinalen, während die Festländer, und insbesondere die großen Festlandsschwellen, die Stätten vorherrschender „broad movements“ sind; aber in den Festlandsschwellen, wenn wir diesen Begriff so weit wie die genannten beiden Autoren fassen („Aires Continentales“), treten auch „Gebirgsbildungen“ ein, und in den Geosynklinalen ereignen sich auch „broad movements“.

So kommen wir dazu, die Raumart, noch mehr aber die Richtung und vor allen Dingen hypothetische Kausalitäten als geeignete Fundamente für eine Klassifikation des Diastrophismus abzulehnen. Demgegenüber hatte GILBERT, wie wir im ersten Kapitel gesehen haben, eine Orogenese und eine Epirogenese im wesentlichen auf der Basis der entstehenden morphologischen Gebilde, daneben auf der Basis der diese Gebilde schaffenden Vorgänge unterschieden.

Das resultatliche Unterscheidungsprinzip ist, wie wir gesehen haben, heute nur noch mit gewisser Einschränkung verwendbar; es bleibt die Vorgangsart, die namentlich hinsichtlich der Epirogenese bei GILBERT klar umschrieben ist, als Unterscheidungsprinzip bestehen.

B. Definition der Epirogenese.

1. Die epirogenetischen Vorgänge sind weitspannig.

Es handelt sich bei der Epirogenese, wie wir gesehen haben, um die „broad movements“; es sind die „mouvements d'ensemble“ (Bewegungen im großen) EMANUEL DE MARTONNES²⁵⁾. „Mouvements d'ensemble ou mouvements épéirogéniques“, so lautet eine Kapitelüberschrift in DE MARTONNES *Traité de Géographie physique*. Das „warping“ des amerikanischen Sprachgebrauchs²⁶⁾ kommt ziemlich auf dasselbe hinaus. Es handelt sich um die „Falten großer Amplitude“ bei EDUARD SUESS²⁷⁾, der allerdings später von epirogenetischen Bewegungen nicht viel wissen wollte (vgl. oben). Die gleiche Vorstellung schwebt im allgemeinen vor, wenn man neuerdings in der deutschsprachigen Literatur von „Großfalten“ spricht. Allerdings hat WILCKENS²⁸⁾, der

²⁵⁾ *Traité de Géographie physique*. Paris. Armand Colin, 1909.

²⁶⁾ Vgl. u. a. Th. C. CHAMBERLIN and R. D. SALISBURY, *Geology*, 2. Aufl., 1906, S. 540.

²⁷⁾ E. SUESS, *Die Entstehung der Alpen*, Wien 1875, S. 150 ff. Vgl. auch *Anf. d. Erde*, II, S. 28.

²⁸⁾ O. WILCKENS, *Grundzüge der tektonischen Geologie*, Jena 1912, S. 3 und 11.

kürzlich daran erinnerte²⁹⁾, daß er diesen Begriff vor ABENDANON³⁰⁾ gebraucht habe, ihn für Gebilde angewandt, die er selbst als orogenetisch bezeichnet (a. a. O. S. 11 u. 3), nämlich für die variszisch streichenden großen Aufwölbungen Vogesen—Schwarzwald und Haardt—Odenwald. ABENDANON behandelt aber durchaus heterogene Dinge als Großfalten, und so schwebt auch aus diesem Grunde der Terminus leider etwas in der Luft. Will man ihn weiter verwenden, so tut man das m. E. am besten in der Beschränkung auf die Gebilde von epirogenetischer Entstehung, und in diesem Sinne würde die weiter unter noch zu erörternde WALTER PENCKsche³¹⁾ „Großfaltung“ Kleinasiens mit Recht diese Bezeichnung führen, mag PENCK sie auch als eine echte Faltung ansprechen.

Ich selbst habe für diese weite Wellung den Ausdruck „Undation“ im Gegensatz zu den kleinwelligen orogenetischen „Undulationen“ gebraucht.

Überall herrscht ganz im Sinne GILBERTS die Vorstellung von einem weite Gebiete gleichmäßig betreffenden („regionalen“) Vorgänge.

Daß es sich um aufwärtige und abwärtige Vorgänge handelt und daß die epirogenetischen Aufwärts- und die epirogenetischen Abwärtsbewegungen korrespondierende Vorgänge bedeuten, wie Sättel und Mulden korrespondierende Begriffe sind, sei nochmals hervorgehoben. Das finden wir ja schon bei GILBERT, der den Begriff Epirogenese für die Bildung der „continents and plateaus“ einerseits, der „ocean beds and continental basins“ andererseits (Lake Bonnevill, S. 340) eingeführt hat. Scharf betonen u. a. auch CHAMBERLIN und SALISBURY (a. a. O.) die Reziprozität der aufwärtigen und abwärtigen Epirogenese; nebeneinander bilden sich, wie sie sagen, in parallelen Zonen die Weidegründe („feeding-grounds“) der Ströme und die Wohngründe („lodgment-grounds“) für die Sedimente aus, und dabei ist die Aufwärtsbewegung („upward bowing“), die die Weidegründe schafft, ein ebenso vitaler Prozeß, wie die Senkung („sagging“), die die Sedimentation ermöglicht.

²⁹⁾ Referat über ABENDANON, Großfalten der Erdrinde, in Geolog. Rundsch., Bd. VIII, S. 262.

³⁰⁾ E. C. ABENDANON, Die Großfalten der Erdrinde. Leiden 1914.

³¹⁾ WALTER PENCK, Die tektonischen Grundzüge Westkleinasiens. Stuttgart 1918.

2. Die epirogenetischen Bewegungen sind säkular.

Etwas anderes pflegt sich ohne weiteres mit der Vorstellung des regionalen Vorgangs zu verknüpfen, nämlich die Vorstellung seiner langen Zeitdauer.

Aus den Fortschritten der Verbiegungen, wie sie sich aus den Verbiegungsunterschieden der altersverschiedenen Terrassen ergeben, hat GILBERT auf die Art des Vorgangs geschlossen; „die Wölbungsbeträge sind an sich unbedeutend, aber die Kontinuität schafft die erheblichen vertikalen Unterschiede“, so lesen wir bei DE MARTONNE (a. a. O., S. 505), und ähnlich heißt es bei vielen anderen Forschern; „säkuläre Oszillationen oder epirogenetische Bewegungen“, so hieß es auch schon bei MARCEL BERTRAND³²⁾ bald nach Erscheinen des GILBERTschen „Lake Bonneville“. Von den „nearly constant“ small movements sprechen CHAMBERLIN und SALISBURY (a. a. O.).

Die „Kontinuität“ ist zwar vielfach im Sinne von Einzelrucks mit Zwischenpausen zu verstehen, was u. a. VON STAFF (a. a. O.) hervorgehoben hat. Auch innerhalb der langen anorogenetischen Zeiträume ist die Stärke der Epirogenese, mag sie in Einzelrucks erfolgt sein oder nicht, recht verschieden, und im allgemeinen scheinen die thalattokraten Perioden der Erdgeschichte Zeiten einer besonders trägen Epirogenese³³⁾, die geokraten, — soweit sie nicht überhaupt mit orogenetischen Phasen zusammenfallen —, Zeiten einer aktiveren Epirogenese zu sein.

3. Die epirogenetischen Vorgänge sind gefügeerhaltend.

Etwas Drittes charakterisiert endlich die epirogenetischen Vorgänge: sie lassen das tektonische Gefüge des Untergrundes sozusagen intakt.

Ich spreche hier ausdrücklich vom tektonischen Gefüge („Lagegefüge“), wobei ich besonders an das tektonische Makrogefüge denke; das stoffliche Gefüge kann demgegenüber durch die Epirogenesen sehr erhebliche Ver-

³²⁾ MARCEL BERTRAND, Annales des Mines, Janvier 1893, S. 51.

³³⁾ Auch WILH. RAMSAY bringt in „Orogenesis und Klima“ (Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar, L II, 1909—1910, Afd. A. Nr. 11) die großen Transgressionen mit dem langen Andauern „anorogenetischer“ Zeiten in Zusammenhang.

änderungen erfahren, denn mit dem Aufsteigen und Absteigen kommt das Gestein unter sehr veränderte Bedingungen des Drucks und der Temperatur und damit unter veränderte chemische Gleichgewichtsverhältnisse. Ich erinnere in diesem Sinne an die Vorstellungen über die Regionalmetamorphose, an die Vorstellung HAUGS³⁴⁾ über die Aufschmelzung zu granitischen Magmen in den Tiefen der Geosynklinalen und an die thermometamorphen Veränderungen von Salzmassen mit zunehmender Ueberdeckung durch jüngerer Sediment, auf die ARRHENIUS und LACHMANN³⁵⁾ hingewiesen haben.

Immer wieder lesen wir allerdings in der Literatur, daß die Epirogenese mit Verwerfungserscheinungen verknüpft sei, so auch in der schon mehrfach erwähnten zusammenfassenden Studie, die F. MACHATSCHKEK kürzlich über die Epirogenese veröffentlicht hat. Einleitend (S. 1) heißt es zwar auch dort, daß es sich um tektonische Vorgänge handelt, die sich nicht als Schichtdislokationen, sondern bloß als Niveauveränderungen äußern, aber weiterhin (S. 8) soll die Vergesellschaftung der umfassenden Aufwölbungen mit Bruchvorgängen der weitaus vorherrschende Typus der epirogenetischen Bewegungen sein, und nach S. 12 sollen auch überall auf mitteleuropäischem Boden die epirogenetischen Bewegungen mit Bruchbildungen Hand in Hand gehen. Auch DE MARTONNE (a. a. O.) hat insbesondere auf die alten Massive Mitteleuropas, wie Vogesen, Schwarzwald und französisches Zentralplateau, verwiesen, als er von der Verbindung der Epirogenese mit Bruchabsenkungen sprach. Der Befund ist in allen diesen Fällen der, daß die sogenannten Massive von Verwerfungen ganz oder teilweise umsäumt sind, und dieser Befund verleitet zu der Erklärung, daß die Verwerfungen die Entstehung der Massive bedingen oder wenigstens bei ihrer säkulären Aufwölbung wesentlich mitgewirkt haben. Aber beim Rückblick in die Vergangenheit und beim sorgfältigen zeitlichen Auseinanderhalten der Bewegungsvorgänge, wo ein solches möglich ist, stellt sich, wie ich an anderer Stelle gezeigt habe, die Sachlage anders dar, indem sich nämlich die Bruchzonen, die heute die Massive umsäumen, als nachträgliche, nämlich in einer jüngeren orogenetischen Phase entstandene Zu-

³⁴⁾ EMILE HAUG, *Traité de Géologie*, S. 189.

³⁵⁾ SV. ARRHENIUS und R. LACHMANN, *Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme*. *Geol. Rundsch.* 1912, Bd. III, S. 139 ff.

taten zu den bruchlos aufgewölbten Schwellen ergeben. Und bei Aufreißen dieser Verwerfungen vollzog sich auch nicht die gegenseitige Verschiebung zwischen Schwelle und angrenzendem Senkungsfeld in dem Sinne, daß die Schwelle aufstieg und das Senkungsfeld sank, sondern umgekehrt stieg nunmehr relativ zur Schwelle der Inhalt des Senkungsbeckens auf und es sank dementsprechend relativ zum Senkungsbecken die Schwelle. In bezug auf den Rheintalgraben sagt auch MACHATSCHKE, daß die Brüche, die den als epirogenetische Einsenkungszone vor der Oligocänzeit angelegten Graben umziehen, erst „seit dem Miocän“ entstanden, d. h. also nachträgliche Zutaten zu einer epirogenetischen Einsenkung sind; aber das soll geschehen sein unter erneuter Aufwölbung der Randgebiete und Einmuldung der Senke, während doch mit der Bruchbildung die vorher versenkten Tertiärmassen teilweise der Denudation zugeführt, also hochbewegt worden sind. Aber trotzdem die Rheintalbrüche nach der epirogenetischen Einsenkung entstanden sind, glaubt MACHATSCHKE hier weitere Beispiele für den Zusammenhang zwischen Epirogenese und Verwerfung zu sehen. Der gleiche Zusammenhang soll auch im Norden Europas überall erkennbar sein. Hier haben wir Gebilde schildförmiger Aufwölbung, wie Skandinavien oder Spitzbergen oder Island, und Gebilde der Absenkung, wie den Skandik DE GEERS. Zum Teil treten dabei steilere Böschungen auf, und diese führt MACHATSCHKE auf Abbrüche zurück, während DE GEER Flexuren angenommen hatte. Ein zweifellos tektonischer Graben ist nach MACHATSCHKE auch die norwegische Rinne. In diesen nordeuropäischen Beispielen ist zunächst schon das Vorhandensein der Verwerfungen m. E. nicht oder doch nicht einwandfrei erwiesen. Z. B. kann die norwegische Rinne sehr wohl ein bruchloses Gebilde³⁶⁾ und auch die sonstigen Absenkungen können wenigstens teilweise bruchloser Art sein. Aber wenn Brüche auch da sind, — wie ist zu erweisen, daß sie mit dem säkulären Vorgange der Aufwölbung und Absenkung und nicht, wie in den Randzonen der Rheinischen Masse oder wie im Falle des Rheintalgrabens, erst nachträglich zur Zeit einer jüngeren orogenetischen Phase sich bildeten? — Gewiß erscheint auch hier die Einsenkung der Meeresräume an Verwerfungen als eine recht ein-

³⁶⁾ Ich selbst erblicke in dem norwegischen Graben ein Beispiel einer „Saumtiefe“, d. h. einer gesteigerten epirogenetischen Senkung in der Umrandung eines stabileren Erdstücks (vgl. Alte und junge Saumtiefen, a. a. O., S. 29).

leuchtende Vorstellung, aber die Geschichte der fossilen Meere beweist ihre Unhaltbarkeit.

Und dann sollen auch die jungen Grabenbrüche und Verwerfungen Schonens Beispiele der Vergesellschaftung von Aufwölbungen und Bruchvorgängen geben. Das gilt aber doch nur im Sinne räumlicher Vergesellschaftung, nicht aber zeitlicher; oder wo findet MACHATSCHEK Beweise in letzterem Sinne?

Immerhin habe auch ich an anderer Stelle eine kleine Einschränkung hinsichtlich der Bruchlosigkeit der Epirogenese unter Hinweis auf unsere heutigen Erdbebendislokationen, soweit solche nicht überhaupt als Begleiterscheinungen von atektonischen Beben atektonischer Art sind, gemacht³⁷⁾. Und nur mit dieser kleinen Einschränkung gilt für mich die Charakterisierung der epirogenetischen Vorgänge als solcher, die das Gefüge des Untergrunds intakt lassen.

C. Definition der Orogenese.

1. Die orogenetischen Vorgänge sind gefügeverändernd.

Die Orogenese äußert sich in den Veränderungen des tektonischen Bodengefüges, und mit dieser „vorgangsartigen“ Begriffsbeschreibung steht man durchaus auf dem Boden der in GILBERTS „Lake Bonneville“ enthaltenen Vorstellungen, wenn allerdings auch, wie gesagt wurde, die nachdrückliche Definition in diesem Sinne im „Lake Bonneville“ fehlt.

2. Die orogenetischen Vorgänge sind episodisch.

Wenn ich nun weiter die Orogenese als die episodischen³⁸⁾ Gefügeveränderungen des Untergrundes cha-

³⁷⁾ H. STILLE, Über Hauptformen der Orogenese und ihre Verknüpfung. Nachr. K. Ges. d. Wiss. Göttingen. Math.-phys. Kl. 1918, S. 1 ff; vgl. insbes. das Kapitel über das „orogenetische Zeitgesetz“, S. 4 ff.

³⁸⁾ Das Hineintragen des zeitlichen Moments in die Unterscheidung von Orogenese und Epirogenese ist seinerzeit von LACHMANN („Zur Klärung tektonischer Grundbegriffe“, Diese Zeitschrift f. 1914, Monatsber., S. 227) deswegen angegriffen worden, weil GILBERT bei diesem Begriff nur regionale Unterschiede im Auge gehabt haben soll. Ich habe darauf schon an anderer Stelle (Diese Zeitschrift f. 1916, Monatsber., S. 274) geantwortet. Seitdem hat MACHATSCHEK (a. a. O., S. 11) die von

rakterisiere, d. h. auch hier, wie bei der Epirogenese, das zeitliche Moment heranziehe, so bin ich mir klar, damit zwar über die in GILBERTS Fundamentalwerk entwickelten Vorstellungen hinauszugehen. Aber im Jahre 1890 fehlte noch die Erkenntnis von dem Beschränktsein der Vorgänge, die für GILBERT die orogenetischen waren, auf bestimmte und von anorogenetischen Zeiten unterbrochene Termine, vielmehr galt damals allgemein, wie auch heute noch in sehr weiten Kreisen der Geologen, auch der orogenetische Vorgang als ein kontinuierlicher, — „als säkular in bezug auf Dauer, obgleich katastrophal im Detail“, so heißt es bei GILBERT (S. 356). So stimmt der Zusatz, daß die Orogenese ein episodischer Vorgang sei, zwar nicht mit den Ausführungen im „Lake Bonneville“ überein, aber trotzdem sind in der Definition der Orogenese als der „episodischen Gefügeveränderungen des Untergrundes“ die gleichen Vorgänge umschlossen, die auch GILBERT als „orogenetisch“ im Gegensatz zu den epirogenetischen Vorgängen bezeichnet hatte, nur wird dem Fortschritt der Erkenntnis, daß diese Vorgänge nicht säkular, sondern episodisch eingetreten sind, Rechnung getragen³⁹⁾. Wir können aber m. E. bei der rein

mir gegebenen Beziehungen zwischen Orogenese und Epirogenese zwar als einwandfrei anerkannt, sie allerdings in einer Hinsicht so dargestellt, daß vielleicht bei demjenigen, der meine Originalarbeiten nicht nachliest, ein Mißverständnis entstehen könnte. Er schreibt nämlich, daß nach meiner Ansicht bei dem großen flachen Wellenwurf die Wellenberge „oder Undulationshorste“ die Rahmen, die Wellentäler „oder Undulationsgräben“ die Senkungs- und Sedimentationsräume sind, und daß später, wenn an Stelle der epirogenetischen Bewegung die orogenetische tritt, Undulationshorste und -gräben sich bilden. Ich brauche aber wohl kaum zu wiederholen, daß im Sinne meiner Vorstellungen die großen flachen epirogenetischen Wellen zunächst noch keine Undulationshorste und Undulationsgräben sind, sondern nur Undulationsschwellen und Undulationsbecken, und daß sie erst in einer nachfolgenden orogenetischen Phase zu den Undulationshorsten („Schwellenhorsten“) und Undulationsgräben („Beckengräben“) werden, während sich gleichzeitig in den letzteren durch Bruchfaltung Undulationshorste („Schollenhorste“) und Undulationsgräben („Schollengräben“) bilden können (vgl. u. a. „Injektivfaltung usw.“, Geol. Rundsch. 1917, Bd. VIII, S. 136 ff.).

³⁹⁾ Auch CHAMBERLIN und SALISBURY (a. a. O.) stellen den „nearly constant small movements“, die ich nach ihren von den amerikanischen Autoren geschilderten Erscheinungsformen mit den „epeirogenic movements“ GILBERTS identifizieren muß (vgl. oben), die „great periodic movements“ gegenüber und teilen diese ein in

vorgangsartigen Definition nicht stehen bleiben, weil sie in manchen Fällen nicht genügt; so ist auch die Zeitlichkeit oder die Zeitdauer der Vorgänge für mich nicht nur eine Zusatzdefinition, sondern ein integrierender Teil derselben. Was heißt denn schließlich „weite“ und „enge“ Amplitude? Es gibt doch auch „mittlere“ Amplituden. Was heißt Änderung des Erdgefüges, wo es doch

-
- a) mountain-forming movements,
 - b) plateau-forming movements,
 - c) continent-forming movements.

Dabei ist unter a) die Faltung und unter b) die Blockgebirgsbildung verstanden, — und was die hier wieder erscheinende grundsätzliche Unterscheidung eines „Faltengebirges“ und „Blockgebirges“ anlangt, wobei das erstere vorwiegend durch laterale, das letztere eher durch vertikal wirkende Kräfte erzeugt sein soll, so erlaube ich mir auf meine Ausführungen in dem Aufsatz über „Hauptformen der Orogenese und ihre Verknüpfung“ (a. a. O.) zu verweisen. Die unter c) genannten „continent-forming movements“ sind aber etwas ganz anderes, wie das „continent-making“ oder die „epeirogenic movements“ bei G. K. GILBERT; sind sie doch erstens „great“ und zweitens „periodic“ gegenüber dem „warping“, das erstens als „small“ und zweitens als „nearly constant“ gekennzeichnet wird. Es handelt sich um uralte tektonische Vorgänge, die schon vor den ältesten bekannten Sedimentationen eingetreten sind und zur Bildung der nach amerikanischer Auffassung später wohl erweiterten oder verkleinerten, aber in annähernd ursprünglicher Art heute noch vorhandenen Kontinente (der Kerne der sich um sie gruppierenden Faltenzonen) geführt haben. Zur Annahme dieser besonderen Kategorie von Vorgängen führt m. E. das überkonsequente Festhalten an der besonders von den amerikanischen Fachgenossen vertretenen Permanenz der Kontinente, und in diesem Sinne sollen ja nach CHAMBERLIN und SALISBURY die alten Faltungen — im Gegensatz zu allen jüngeren und auf die Randzonen der Kontinente beschränkten Falten —, auch die Kontinentalgebiete ergriffen haben; demgegenüber erscheint mir mit vielen anderen Forschern auf Grund der in den alten „Grundgebirgen“ festgestellten, wenn zum Teil auch stark verwischten Diskordanzen die Annahme weit gerechtfertigter, daß in den heutigen Räumen der alten Kontinentalgebiete Zyklen der Senkung, Sedimentation, Faltung und Denudation in früher Zeit der Erdgeschichte ebenso gut eingetreten waren, wie später in anderen Erdzonen, und daß also auch diese Kontinentalgebiete einstmals wenigstens teilweise labile Zonen, wohl in der Peripherie noch älterer Kontinentalmassen, deren Spuren wir bis jetzt nur sehr teilweise nachkommen können, gewesen sind.

Wenn ich CHAMBERLIN und SALISBURY also recht verstehe, so sind ihre „continent-forming movements“ Vorgänge von im wesentlichen orogenetischer Art aus ganz früher Erdgeschichte; damit könnte man sie aber kaum als eine grundsätzlich selbständige

schließlich auch echte (orogenetische) Falten gibt, die über weitere Landstrecken gehen und dabei bruchlos und überhaupt ohne „orogenetische“ Kriterien sind? Kennen wir doch ferner neben den epirogenetischen Wellen großer Spannweite schließlich auch Wellen mittlerer Spannweite, und kommen wir doch sogar zu der Vorstellung von Spezialunda-

Art tektonischer Erscheinungen gegenüber den sonstigen „great periodic movements“ anerkennen.

Noch ein paar Worte seien anmerkungsweise zu der eben gestreiften Frage des Verhältnisses von Kontinentalkern und Faltenkranz gestattet.

Man findet nämlich häufig einen Gegensatz zwischen der „amerikanischen“ Auffassung, daß sich die Faltenzüge um die Kontinente bilden, und derjenigen Auffassung, die bei europäischen Autoren besonders ihre Vertretung hat, daß nämlich die Faltenzonen aus Senkungsräumen zwischen zwei Kontinenten entstanden seien, hervorgehoben. Beide Auffassungen sind m. E. richtig, und der scheinbare Gegensatz überbrückt sich leicht. Die Gebirge steigen aus den gesunkenen Zonen in der Peripherie der Festlandsmassen auf, wie die Amerikaner auf Grund der Geschichte ihres Kontinents sagen; sind aber die Kontinente einander genähert und ist das trennende Becken entsprechend schmal, wie etwa in Europa im Fall der Thetys, so ergibt sich das Bild der Entstehung der Gebirgszüge „wie zwischen den Backen eines Schraubstocks“, d. h. im Fall der Thetys zwischen der afrikanischen und den mitteleuropäischen Massen, wobei eine mittlere Zone noch ungefaltet bleiben kann; in ganz extremen Fällen, d. h. bei sehr schmaler Geosynklinale, kann sogar die ganze Geosynklinale aufgefaltet werden, wie mit der Pyrenäen-Geosynklinale zwischen Zentralplateau und Iberischer Meseta geschehen ist (vgl. HAUG, Traité, S. 167), und man mag dann den einen Teil der dabei entstandenen Falten als peripherisch der einen, den andern Teil der andern Schwelle zurechnen. Verbreitern sich aber die Becken und liegen endlich „Weltozeane“ zwischen den Kontinenten, so ergibt sich für jeden einzelnen dieser Kontinente das „amerikanische“ Bild der Faltenangliederung. Ich meine also, daß z. B. — um ganz extreme Fälle zu vergleichen —, die südwärts gerichteten Falten der südlichen Pyrenäen ebenso peripherisch zur Iberischen Meseta und die nordwärts gerichteten Falten der Pyrenäen ebenso peripherisch zum Zentralplateau liegen, wie die pazifischen Gebirge Nordamerikas peripher zu Laurentia, — und daß das tektonische Verhältnis der nördlichen zu den südlichen Pyrenäen hinsichtlich der Lage zu den Festlandsschwellen dem tektonischen Verhältnis der perilaurentischen Gebirgszüge in der amerikanischen Umrandung des Pazifik zu den periasiatischen in der westlichen Umrandung dieses Weltmeers durchaus vergleichbar ist, — nur war in einem Falle das Muttermeer, dem die Falten entsprangen, sehr schmal, im andern Fall riesenweit.

tionen, mit denen ich mich an anderer Stelle befaßt habe⁴⁰⁾, und von denen in bezug auf die Verhältnisse Kleinasiens, wie sie uns WALTER PENCK geschildert hat, sogleich die Rede sein wird.

So mag es einmal sein, daß Falten, die sicher in den Kreis der Orogenese gehören, an Amplitude nicht zurückstehen hinter örtlich einmal kleinen Wellen der Undation. Wo liegt dann das Fundamentum divisionis? Die Wellen „mittlerer“ Amplitude der ersten Art sind mit den unzweifelhaft orogenetischen Falten und wie diese entstanden und diejenigen zweiter Art mit den epirogenetischen Gebilden und wie sie. In der Zeitlichkeit der Vorgänge liegt eben die Unterscheidungsart. Handelt es sich um Gebilde säkulärer Entstehung, so sind sie als epirogenetisch zu klassifizieren, trotz der örtlich einmal etwas kleineren Amplitude. Sind sie episodischer Entstehung gleich den Falten, Ueberschiebungen usw., so sind sie zur Orogenese zu stellen. Das ist zunächst theoretisch das Kriterium; in der praktischen Handhabung desselben kommt es auf die Vorgesichte des Gebildes an.

In diesem Sinne verweise ich auf Ausführungen, die ich im Anschluß an die Frage der Unterscheidung von Horsten und Gräben undatorischer Entstehung von solchen undulatorischer Entstehung gemacht habe⁴¹⁾, nur kommt es jetzt nicht auf Horste und Gräben, sondern auf Sättel und Mulden an. Fällt die „Mulde“ annähernd mit einem ehemaligen Sedimentationsraume oder fällt der „Sattel“ annähernd mit einer ehemaligen Schwelle zusammen, so handelt es sich um epirogenetische Gebilde; sind aber die Sättel und Mulden nur kleine Teile eines ausgedehnteren Schichtsystems mit einigermaßen übereinstimmender Vorgeschichte, nur kleine Teile ehemaliger größerer Becken, so handelt es sich um orogenetische Falten.

⁴⁰⁾ H. STILLE, Alte und junge Saumtiefen (a. a. O., S. 20, Anm. 1). Eine Diskussion im Anschluß an den oben wiedergegebenen Vortrag gibt mir Veranlassung zu der nachdrücklichen Feststellung, daß nach der von mir gebrauchten Terminologie „Spezialundation“ und „Undulation“ gänzlich verschiedene Dinge sind. Spezialundation ist eine verhältnismäßig kleinwellige Undation innerhalb eines aufsteigenden oder einsinkenden größeren Bezirks, aber immerhin eine Undation, d. h. ein säkular fortgehender Vorgang, während die Undulationen („Ondulations“ der französischen Literatur) die episodischen Faltungen sind.

⁴¹⁾ „Injektivfaltung usw.“, a. a. O. S. 136 ff.

Anschließend hieran möchte ich vorschlagen, daß noch strenger als bisher die Begriffe Synklinale und Antiklinale (Mulde und Sattel) allein in bezug auf die Gebilde der Orogenese („Undulationen“) angewandt werden, während die Begriffe Geosynklinale⁴²⁾ und Geantiklinale (Becken und Schwelle) die Gebilde der Epirogenese („Undationen“) bezeichnen.

D. Synklinal- und Geosynklinalbildung in Beziehung zum ozeanischen Spiegel.

Die orogenetischen Mulden (Synklinale) entstehen samt den orogenetischen Sätteln unter Aufwärtsbewegung, bezogen auf den ozeanischen Spiegel, die epirogenetischen Becken (Geosynklinale) im allgemeinen unter Abwärtsbewegung gegenüber diesem, während die epirogenetischen Schwellen (Geantiklinale) im allgemeinen ihm gegenüber aufsteigen; nur in gewissen Fällen von „Spezialundationen“, nämlich bei geringerem Betrag der abwärtigen Spezialundation gegenüber dem Ausmaß der aufwärtigen Allgemeinundation der größeren Einheit, kann sich auch einmal ein epirogenetisches Becken (Geosynklinale) unter Aufwärtsbewegung gegenüber dem ozeanischen Spiegel fortentwickeln, — wie Geantiklinale im Falle einer geringeren aufwärtigen Spezialundation gegenüber der abwärtigen Allgemeinundation der größeren Einheit sich auch einmal unter Abwärtsbewegung gegenüber dem ozeanischen Spiegel fortbilden können.

E. Beispiele.

Im folgenden gebe ich drei Beispiele für die aus den voranstehenden Kapiteln sich ergebende Anwendungsart der Begriffe Orogenese und Epirogenese, und zwar im ersten Fall unter Bezugnahme auf schon etwas ältere Ausführungen HAUGS, im zweiten und dritten Fall unter Herausgreifen mir als Beispiele besonders geeignet erscheinender Arbeiten aus der neuesten Literatur.

1. Kaledonische und postkaledonische tektonische Bewegungen.

Die kaledonische Faltung im weiteren Sinne zerfällt in zwei Phasen, nämlich

⁴²⁾ Dabei muß allerdings der Begriff „Geosynklinale“ in der von mir angewandten sehr weiten Fassung für säkular sinkende Räume jeglicher Art gebraucht werden.

1. die takonische Faltung zwischen Untersilur (Ordoviciun) und Obersilur (Gothlandium),
2. die kaledonische Faltung im engeren Sinn im Ausgange des Obersilurs.

Als „taconic revolution“ bezeichnen die amerikanischen Geologen⁴³⁾ die vorgothlandischen orogenetischen Bewegungen, die in der Zone östlich der Alleghanies von Virginia bis Neu-England, so in der Struktur des Piedmont-Plateaus, und im Fortstreichen bis hin in das östlichste Kanada nachweisbar sind. Gleichzeitig ereigneten sich Faltungen in England (Midland Counties und Wales) und wahrscheinlich auch in Nordwestafrika, und ich möchte den Vorschlag machen, daß man über das Heimatgebiet des Begriffs „takonisch“ hinaus ganz allgemein die ältere Phase der silurischen Faltung als die „takonische“ bezeichnet.

Die jüngere Phase, die kaledonische Faltung s. str., erweist sich als älter als Gédinnien in solchen Gebieten, in denen Gédinnien entwickelt ist. Vielfach finden wir in der Literatur zwar altdevonische Faltungen angegeben, aber wenn in den solchen Angaben zugrunde liegenden Fällen auch jüngeres Unterdevon oder älteres Mitteldevon über gefalteten silurischen Schichten liegt, so spricht doch nichts dagegen, die unter der transgredierenden Decke erkennbaren tektonischen Vorgänge der jungsilurischen Faltung zuzuschreiben, — im Gegenteil spricht die Konkordanz innerhalb des Unterdevons vom Gédinnien aufwärts, wo immer wir eine solche Schichtfolge finden, gegen jegliches unterdevonische Ereignis von orogenetischer Art. Mag also auch z. B. in dem Falle der Überdeckung gestörten Silurs durch jüngeres Unterdevon die unmittelbare Altersbestimmung des tektonischen Vorgangs nicht möglich sein, so führt doch die „mittelbare“ (vergleichende)⁴⁴⁾ Altersbestimmung zur Einreihung in den kaledonischen Faltungsakt.

So haben wir vom Untersilur bis zum Mitteldevon nachweislich nur zwei Phasen von orogenetischem Charakter, die zeitlich gut festgelegt sind. Was sich sonst in dieser langen Zeitspanne an tektonischen Bewegungen ereignet hat, entfällt, da weitspannig und säkular und gefügerhaltend, unter die epirogenetischen Vorgänge, und wenn HAUG auch

⁴³⁾ Vgl. BLACKWELDER, United States of North Amerika im Handb. d. reg. Geologie, Bd. VIII, Heft 2, 1912, S. 54.

⁴⁴⁾ Vgl. H. STILLE, Über Hauptformen der Orogenese usw., a. a. O., S. 15.

hier von „orogenetischen“ Bewegungen spricht, so liegt das eben an seiner andersartigen Anwendungsart dieses Begriffs (vgl. oben). So sind nach ihm, wie wir gesehen haben, die Senkungen, die in Belgien nach der vordevonischen Faltung zur Transgression des Devons führten, orogenetischer Art, denn sie sind longitudinal. Demgegenüber soll die Diskordanz zwischen dem unteren und oberen Old Red in Schottland und in Nord- und Zentralengland eine epirogenetische Bewegung verraten, da hier eine Heraushebung des unteren Old Red vorliegt, so daß das obere Old Red sich auf geneigten Schichten ablagerte⁴⁵). M. E. ist die Sache umgekehrt im Sinne der GILBERTSchen Bedeutung der Begriffe. Die Senkungen im Süden, die das Meer allmählich vorrücken ließen, sind unzweifelhaft epirogenetisch im Sinne GILBERTS, und Heraushebungen, die zu starken örtlichen Denudationen und der immerhin nicht unbeträchtlichen Diskordanz der nachfolgenden Sedimente führen, entfallen unter den GILBERTSchen Begriff des „Mountain-making“, d. h. der Orogenese. Etwas anders ist es natürlich mit der Entstehung und Fortbildung der Sedimentationsräume des Old Red, — das sind epirogenetische Vorgänge. Aber davon ist derjenige Vorgang zu unterscheiden, der in Unterbrechung der Old-Red-Sedimentation das ältere Old Red weithin schräg stellte, heraus hob und damit der Denudation zugänglich machte. Hier drückt sich nach der kaledonischen Faltung zum ersten Male wieder ein orogenetischer Akt aus.

2. Jungtertiäre Vorgänge am Ostrande der Zentralalpen.

A. WINKLER⁴⁶) hat am Ostrande der Zentralalpen in einer mir außerordentlich dankenswert erscheinenden Studie Bewegungen von zweierlei Art unterschieden, nämlich

1. „Hebungen und rupturale Störungen“, „die in bestimmten Zeitpunkten zur Auslösung kommen“,
2. „weitreichende Schollenbewegungen“ (Hebungen und Senkungen), „die durch längere Zeiträume andauern“.

Seine beiden Kategorien sind nichts anderes als Orogenese und Epirogenese im oben erläuterten Sinne, und auch

⁴⁵) E. HAUG, *Traité*, S. 734.

⁴⁶) ARTUR WINKLER, Über jungtertiäre Sedimentation und Tektonik am Ostrande der Zentralalpen. *Mitt. Geol. Ges. Wien*, 1914, S. 256 ff.

bei WINKLER begegnet uns ja die Unterscheidung erstens nach Vorgangsart und zweitens nach Zeitverhältnissen. So sind, um bei diesem Beispiel zu bleiben, als Äußerungen der Epirogenese die Hebung der Koralpe usw. unter Senkung der nordostwärts gelegenen Grazer Bucht zur Mediterränzeit, die vor- oder tiefsarmatische Muldenbildung in der östlichen Mittelsteiermark, die das „mittelsarmatische Delta“ einleitenden Hebungen und Senkungen und die Ausbildung der pontischen Sedimentmulde im Nordosten von Mittelsteiermark zu betrachten. Demgegenüber sind als orogenetische Vorgänge nachweisbar:

1. eine vormediterrane Phase.
2. eine intramediterrane Phase (zwischen 1. und 2. Medit. Stufe),
3. eine vorpontische Phase (zwischen tiefsarmatisch und pontisch),
4. eine postpontische Phase.

Was die intramediterrane Phase anlangt, so hatte WINKLER zwar 1913⁴⁷⁾ Gebirgsbildungen dieses Alters angenommen, jedoch ließ er diese Annahme 1914 fallen. Wir kommen aber, wie mir scheinen möchte, nach den neueren Beobachtungen und Literaturzusammenstellungen von W. PETRASCHECK⁴⁸⁾ wohl kaum um diese intramediterrane Gebirgsbildung herum. Zu bemerken ist zwar, daß, während die vormediterrane, vorpontische⁴⁹⁾ und postpontische Gebirgsbildung die notorischen orogenetischen Phasen der jüngeren Tertiärzeit sind, intramediterrane Vorgänge von unzweifelhaft orogenetischem Charakter recht geringe Verbreitung zu besitzen scheinen.

3. Die Großfaltung Kleinasiens.

Auf Grund der geologischen Geschichte der entstandenen Gebilde, d. h. insonderheit nach der säkulären Aufschüttung in den sinkenden Räumen und der säkulären Abtragung auf den Antiklinen, erscheint mir die „Großfaltung“ Kleinasiens, die „letzte Phase der dinarisch-taurischen Faltung“ WALTER PENCKs, als ein im wesentlichen epirogenetischer Vorgang. W. PENCK hat aufs treffendste

⁴⁷⁾ ARTUR WINKLER, Untersuchungen zur Geologie u. Paläontologie des steirischen Tertiärs. Das Miocän von Mittelsteiermark. Jahrb. Geol. Reichsanst., Wien 1913, Bd. 63, S. 503 ff.

⁴⁸⁾ W. PETRASCHECK, Die miocäne Schichtfolge am Fuße der Ostalpen. Verh. Geol. Reichsanst., Wien 1916, S. 310 ff.

⁴⁹⁾ Vgl. H. STILLE, Über Hauptformen der Orogenese, a. a. O., S. 17.

diesen Vorgang der Großfaltung, sein Einsetzen etwa im Mio-Pliocän nach einer längeren Verebnungszeit, seine säkuläre Fortdauer, seine Hauptwirksamkeit im Pliocän und Quartär, seine weitgehende Unabhängigkeit von der älteren Struktur des Bodens, seine Beziehungen zu der „regionalen“ Hebung des gesamten Großfaltenlandes, die gleichzeitig mit der Großfaltenbildung erfolgt, den Wechsel von Aufschüttung und Ausräumung in den Synklinalen, die Interferenz verschiedener Großfaltenelemente, die zu Quergliederungen führt und die Synklinalen zum Teil zu rund umschlossenen Tiefgebieten macht, die Entstehung gewisser „Ova“ als einer besonderen Erscheinungsform der Groß-Synklinen, das Einsinken anderer Synklinen unter Meeresniveau (Golf von Ismid, Golf von Gemlik) geschildert. Das säkuläre des Bewegungsvorgangs charakterisiert diese Großfaltung als eine epirogenetische Erscheinung und charakterisiert trotz der für epirogenetische Verhältnisse kleinen Amplitude die Mulden als Geosynklinalen, die Sättel als Geantiklinalen. Dabei handelt es sich um den Fall einer Spezialundation innerhalb einer größeren epirogenetischen Einheit⁵⁹⁾. Die

⁵⁹⁾ „Spezialundationen“ und „Allgemeinundation“ habe ich kürzlich im malaisch-pazifischen Inselmeere unterschieden (vgl. „Alte und junge Sauntiefen“, a. a. O., S. 20, Anm. 1). Auch dort liegen Fälle einer verhältnismäßig kleinwelligen Epirogenese vor, wenn sie gewiß auch noch weit großwelliger ist als diejenige, die die „Großfalten“ Kleinasiens geschaffen hat. Der Unterschied gegen die Verhältnisse in Kleinasien, wie ich sie nach W. PENCKs Schilderungen deuten zu müssen glaube, liegt darin, daß es sich im malayischen Archipel um Spezialundationen innerhalb eines Gebietes mit vorherrschend abwärtsiger Allgemeinundation, dagegen in Kleinasien um solche in einem Gebiete mit vorherrschend aufwärtsiger Allgemeinundation handelt.

Aber wir brauchen von Kleinasien nur etwas westwärts in das Gebiet der Aegäis zu gehen, um auch hier wie im Malayischen Archipel eine Spezialundation bei vorherrschend negativer Allgemeinundation, nämlich derjenigen, die die Aegäis als „Aire d'Ennuyage“ zum transversalen Meeresbecken im Gegensatz zu der aufsteigenden kleinasiatischen Schwelle machte, zu finden; dieser Wechselwirkung von abwärtsiger Allgemeinundation mit allerlei Spezialundationen, die vergleichbar denen sind, die uns W. PENCK in dem Großfaltenbau Kleinasiens vorführt, möchte ich die Ausgestaltung der Aegäis mehr zuschreiben, als den immer wieder behaupteten „radialen Einbrüchen“, — wenn gewiß, wie überhaupt in Gebieten von epirogenetischer Anlage, so auch hier, Dislokationen und sonstige orogenetische Vorgänge an den epirogenetischen Schwellen und Becken episodisch umgestaltend gewirkt und sie zum Teil auch in „Horste“ und „Gräben“ verwandelt haben.

Epirogenese dieser größeren Einheit äußert sich in ihrer „regionalen“ Hebung, die das Gesamtsystem der Großfalten ergreift, und W. PENCK schildert uns nun, wie im allgemeinen in den Synklinen die (lokale) Senkung über die regionale Hebung überwiegt, was Sedimentationen in den Synklinen zur Folge hat und die Denudation auf die Antiklinen beschränkt, wie aber anderseits das zeitweilige Überwiegen der regionalen Hebung über die abwärtige Großfaltung der Synklinen zur Ausräumung der Synklinen führen kann.

Auch an orogenetischen Erscheinungen fehlt es in den von W. PENCK geschilderten Großfalten nicht, aber in bezug auf sie glaube ich eine von derjenigen PENCKS etwas abweichende Meinung vertreten zu müssen. Nach PENCK sind sie nämlich Begleiterscheinungen des Großfaltenbaues, den er ja überhaupt für eine „echte“ Faltung hält. Aber es handelt sich doch in den örtlichen Zerknitterungen, Faltungen, Schleppungen und sonstigen Störungen der mio-pliocänen Schichten, die besonders an die Randzonen der Großmulden gebunden zu sein scheinen, um typisch orogenetische Erscheinungen, und deshalb müssen wir sie meines Erachtens von der eigentlichen Großfaltenbildung als Vorgänge von orogenetischer Art scharf abtrennen. Sie sind, was ihr Alter anlangt, einerseits postlevantinisch und anderseits älter, als gewisse junge Verebnungen, und so spricht nichts dagegen, sie der in weiten Teilen der eurasiatischen Gebirge nachweisbaren jungpliocänen, vielleicht zum Teil auch einer quartären, jedenfalls aber einer episodischen Dislokationsphase zuzuteilen.

Für mich sind also auf Grundlage der Untersuchungen und Schilderungen WALTER PENCKS die „Großmulden“ („Ova“) Kleinasiens Gebilde einer abwärtigen Spezialundation innerhalb einer größeren Einheit mit vorherrschend aufwärtiger Allgemeinundation, die in einem oder vielleicht auch zwei orogenetischen Zwischen- oder Nachakten — besonders wohl in der Phase der jungpliocänen Gebirgsbildung —, tektonisch etwas umgestaltet, zum Teil dabei auch zu „Gräben“ verwandelt worden sind.

IV. „Synorogenese“.

Auch bei den im Kapitel III möglichst scharf gefaßten Definitionen der Begriffe Orogenese und Epirogenese bleibt ein kleiner Komplex tektonischer Erscheinungen, die sich

nicht sicher klassifizieren lassen, — und zwar nicht etwa aus Unzulänglichkeit der Definitionen, sondern aus dem einfachen Grunde, daß es sich hier um Vorgänge handelt, die an der Grenze von Orogenese und Epirogenese stehen.

Kennzeichnete sich die Epirogenese als ein mehr oder weniger kontinuierlicher, (wenn vielleicht auch in lauter kleinen Einzelrucks erfolgender), die Orogenese als ein episodischer Vorgang, so gibt es damit Zeiten, nämlich die Phasen der Orogenese, in denen beiderlei Vorgänge sich ereignen. In diesen entstehen also zunächst die wechselnden Formen der Orogenese vom höchsten bis zum niedrigsten Typus, vom Deckengebirge und eigentlichen Faltengebirge zum Bruchfaltengebirge und endlich zum Blockgebirge⁵¹). Alle diese Vorgänge sind mit Aufwärtsbewegungen der betroffenen Gesteinsmassen verknüpft und haben deshalb örtliche Regressionen im unmittelbaren Gefolge. Aber die Regressionen haben in den orogenetischen Zeitphasen im allgemeinen mehr als örtlichen Charakter, denn sie pflegen in weiten Teilen der Erde auch außerhalb der Gebiete der nachweisbar orogenetischen Heraushebung einzutreten, und damit sind die orogenetischen Phasen im allgemeinen „geokrate“ Phasen allererster Ordnung. Man denke z. B. an die Übergangszeit zwischen Silur und Devon (kaledonische Faltung), in der weitgehende Verlandungen eintreten, so daß sich das Meer weite Teile seiner vorherigen großen Ausdehnung erst in der Folgezeit nach und nach wieder erobern muß, oder man denke an die Übergangszeit vom Devon zum Carbon oder an die Übergangszeit zwischen Oligocän und Miocän oder an die jüngste Miocän- und früheste Pliocänzeit. Gewiß beruht bei diesen und anderen Beispielen die Geokratie zum guten Teil auf der unmittelbaren Verdrängung des Meeres durch Auffaltung oder sonstige orogenetische Heraushebung weiter Landstriche. Aber vielfach liegen auch, wie es scheint, Schwellenhebungen vor, die nicht eigentlich orogenetischen Charakter haben, sondern den Charakter einer gesteigerten oder doch in erweitertem Umfange wirksamen Epirogenese. Wo ist da aber der Schnitt zu ziehen zwischen dem Grenzfall eines Blockgebirges („Orogenese“) und der gleichzeitigen „epirogenetischen“ Aufwölbung einer Festlandsrandzone? Theoretisch könnte man ja sagen, daß, solange Verwerfungen auftreten

⁵¹) H. STILLE, Über Hauptform der Orogenese usw., a. a. O., S. 1—4.

(„Blockgebirge“), noch eine „Orogenese“ vorläge, während die Aufwölbung, die gleichzeitig damit an anderer Stelle bruchlos erfolgt, als epirogenetisch zu klassifizieren wäre. Aber nun stellen wir uns erstens vor, daß die Verwerfungen immer unbedeutender werden; und dann sollte schließlich das Fehlen oder Vorhandensein eines kleinen Risses das Fundament für die Zuweisung zur Orogenese oder Epirogenese bilden? Zweitens besteht aber in vielen Fällen die große praktische Schwierigkeit oder gar Unmöglichkeit der sicheren Entscheidung, ob Risse da sind oder nicht.

Es gibt also Grenzfälle, in denen orogenetische und epirogenetische Vorgänge so ineinanderführen, daß eine Scheidung schwer möglich ist. Es handelt sich, wie ich wiederhole, speziell um die Formenreihe von einem Blockgebirge in der Randzone eines Massivs über eine Randzone, in der Verwerfungen nur noch ganz untergeordnet erkennbar sind, bis zu bruchlosen, weitwelligten Bewegungen, die nach allem nur eine gewisse Verstärkung der Epirogenese der vorangegangenen Zeiten bedeuten. Über die sich hier ergebenden terminologischen Schwierigkeiten suche ich hinwegzukommen, indem ich von „synorogenetischen“ Vorgängen spreche, d. h. von solchen, die der Zeit nach in eine orogenetische Phase entfallen und der Art nach an der Grenze der orogenetischen und epirogenetischen stehen. Teilt man die Vorgänge der Orogenese zu, soweit das Auftreten typisch orogenetischer Gefügeveränderungen des Untergrundes dieses noch irgend zuläßt, so verbleibt für die „Synorogenese“ neben den auch dann noch zweifelhaften Grenzfällen zwischen Orogenese und Epirogenese im wesentlichen die (meist verstärkt) fortgehende Epirogenese der orogenetischen Erdphasen. — Es sind Vorgänge in den orogenetischen Erdphasen, die uns als epirogenetische erscheinen, — zum Teil es auch unter Zugrundelegung der vorgangsartigen Definition (keine Veränderungen im tektonischen Gefüge des Untergrundes!) wirklich sind, zum Teil aber zur Blockgebirgsbildung, dem niedrigsten Typus der Orogenese, hinüberleiten.

Nachwort.

Zwischen dem Vortrage obiger Ausführungen und ihrer Drucklegung erscheint eine nachgelassene Arbeit von TR. BRANDES über „Die varistischen Züge im geologischen Bau Mitteldeutschlands“⁵²⁾, in der er gleichfalls auf die Grenzfälle von Orogenese und Epirogenese, die etwa mit dem zusammenfallen, was ich oben als „Synorogenese“ bezeichnet habe, hinweist.

⁵²⁾ N. Jahrb., Beil. Bd. XLIII, 1919, S. 190 ff.