

ÉRTEKEZÉSEK. — ABHANDLUNGEN.

WANDLUNGEN DER GROSSFORMEN DER ERDOBER- FLÄCHE.

Von F. X. SCHAFFER, Wien.*

(Mit den Figuren 1.—2.)

In den letzten Jahren ist eine Fülle neuer Gedanken darüber aufgetaucht, wie die Großformen der Erde in ihrer Entwicklung zu erklären wären, wie vor allem die heutige Verteilung von Festland und Meer zustande gekommen wäre.

Diese Ideen stehen einander größtenteils unvereinbar gegenüber und sie lassen der Erdfeste jede Freiheit in ihrer Bewegung in horizontaler und in vertikaler Richtung, sodaß man den Eindruck gewinnt, daß die Kontinentalmassen ein vagabundierendes Dasein führen.

Manche dieser Hypothesen sind von recht einseitigem Gesichtspunkte aus verteidigt worden, wobei der Urheber nur darauf ausging, wirkliches und vermeintliches Tatsachenmaterial heranzuziehen, das ihr als Stütze dienen könnte, ohne sich mit der Erörterung widersprechender Erfahrungen zu beschäftigen.

Es ist sehr auffällig, daß alle diese mehr minder geistreich verfochtenen und vielfach diskutierten Theorien in weiten Kreisen der Vertreter verwandter Fächer Interesse gefunden haben, während eine recht unbeachtet geblieben ist, die A. VON BÖHM-BÖHMERSHEIM 1910 aufgestellt hat. In seiner Arbeit „Abplattung und Gebirgsbildung“ erörtert er den Einfluß, den die Verringerung der Rotation der Erde infolge der Gezeitenbremsung auf die Bewegung der festen Erdrinde ausüben muß.

Heute ist es aber nicht mehr möglich, daran vorüberzugehen, da in der führenden Fachzeitschrift der Geologie („Centralblatt f. Mineralogie etc.“ 1929, GRABER H. V., „Bemerkungen zu S. VON BUBNOFF's ‚Werdegang einer Eruptivmasse.‘“) von der KANT-BÖHM'schen Theorie die Rede war, was wohl eine nicht zu überbietende Anerkennung ist. Vor allem aber hat sie den Vorteil, nicht

* Vorgetragen in der Fachsitzung der Ung. Geol. Gesellschaft am 6. Mai 1951.

mit so vielen Erfahrungen in Widerspruch zu stehen, wie es bei anderen, ähnliche Ziele verfolgenden der Fall ist.

Ich habe 1909 („Der Erdbebengürtel der Erde“ N. Jb. f. M. etc. I.) rein empirisch die Lehre von dem Erdbebengürtel der Erde aufgestellt, die die alte HUMBOLDT'sche Feststellung von der Bedeutung des 40° n. B. als Erdbebenzone mit der von MONTESSUS DE BALLORE und OMORI erkannten Beziehung der seit dem Mesozoikum erkennbaren Geosynklinalen zu der Häufigkeit der Erdbeben vereint. Nach diesen Forschern sollen 95% der beobachteten 70.000 Erdbeben in diesen beweglichen Zonen liegen (Fig. 1.).



Fig. 1. Zeichenerklärung: grau — die Geosynklinalen der Sekundärzeit.
schwarze Punkte — Epizentren der wichtigsten Erschütterungen.
schraffierte Flecken — Gebiete tektonischer Katastrophenbeben.

Die Feststellung des Erdbebengürtels bestimmte BÖHM-BÖHMERSHEIM, dieser Bedeutung der 40° Breitegrade auf mathematischem Wege nachzugehen, indem er sie mit der Verringerung der Abplattung des Geoids infolge der Gezeitenbremsung in Zusammenhang brachte.

Die Verringerung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde ist die Grundlage der ganzen Ableitung BÖHM-BÖHMERSHEIMS und wenn auch vielfach bestritten wird, daß die Gezeitenbremsung wirksam ist, so ist sie doch noch nicht widerlegt worden und entspricht wohl am besten der logischen Überlegung von dem schließlichen Stillstande jeder rotierenden Bewegung.

Der Gedankengang BÖHM-BÖHMERSHEIMS ist in kurzem folgender: Unter dem Einflusse der Anziehung von Mond und Sonne entstehen auf der Erdoberfläche die Gezeiten in der Wasserhülle und im Erdkörper. Diese Massenbewegungen üben eine Reibung

aus, die bremsend auf die Rotation wirkt. Durch Verringerung der Umdrehungsgeschwindigkeit besitzt der Erdkörper eine Neigung, die Gestalt des abgeplatteten Rotationssphaeroids zu verändern und sich der idealen Kugelgestalt zu nähern. Da die Kugel der Körper ist, der bei einer gegebenen Masse die geringste Oberfläche besitzt, so wird diese sich also verringern. Dadurch wird aber die Umdrehungsgeschwindigkeit wieder beschleunigt. Dieser Betrag ist aber gegenüber der Abbremsung gering.

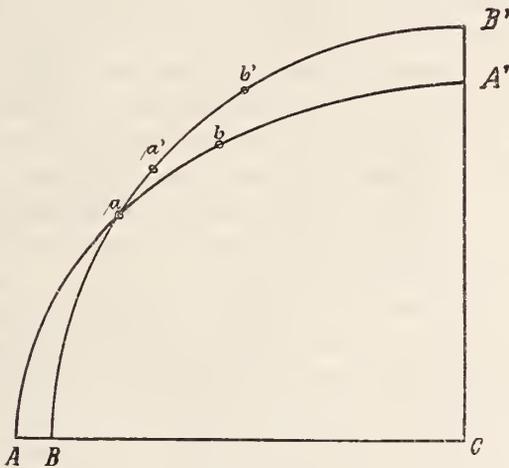


Fig. 2.

Wenn die Abplattung des Geoids allmählich abnimmt (Fig. 2), gelangt ein Punkt A am Äquator nach B, der Punkt A' am Pol nach B'. Es wird also am Äquator Senkung und am Pol Hebung der Erdkruste erfolgen. Die Punkte a und b auf einem Meridianquadranten gelegen, gelangen nach a' und b'. Sie führen also eine tangentiale, d. h. mehr oder minder horizontale Bewegung auf der Erdoberfläche polwärts aus. Der äquatoriale Wulst sinkt von selbst und unmittelbar der verringerten Fliehkraft entsprechend. Bei dem Gleichgewichtsausgleich, der in dem rotierenden nicht starren Körper herrscht, setzt sich der Druck dieser Senkung polwärts fort und die Polarregionen werden emporgedrückt. Bis ungefähr zum 55° Breite werden die Radien vom Äquator ab in abnehmendem Maße verkürzt, von dort bis zum Pol in zunehmendem Maße verlängert. In der Zone, wo die alte und die neue Geoidoberfläche einander schneiden, ist die Richtung dieser Bewegung beinahe horizontal mit einem Maximum in der Zone zwischen 55 und 55° geographischer Breite, theoretisch unter dem 45 . Breitengrade.

Die leichtbewegliche Wasserhülle wird sich bei der Abnahme

der Rotationsgeschwindigkeit unmittelbar fortdauernd und langsam der sich ändernden Rotationsgestalt anpassen, die der jeweiligen Umdrehungsgeschwindigkeit entspricht. Sie wird bis zum 55.° langsam sinken und von da an polwärts ansteigen, ein Abströmen des Meeres polwärts also stattfinden.

Die relativ starre Erdrinde folgt diesen Impulsen nicht so leicht, sondern erst, wenn die Energien sich aufgespeichert haben, sodaß sie den Gleichgewichtszustand brechen können. Es wird die Erdkruste mit ihren Bewegungen also erst nachfolgen. Wir haben daher zuerst mit einem Sinken des Wasserspiegels in niederen Breiten und mit dessen Ansteigen gegen die Pole zu rechnen. Diese Verschiebung der Wassermassen geht langsam vor sich, es werden die Festländer in höheren Breiten langsam überflutet, in niederen Breiten langsam trocken gelegt. Bei der nachfolgenden Bewegung der Erdrinde wird eine rasche Überflutung der Kontinente in den äquatorialen Zonen und ein rasches Auftauchen des Landes in höheren Breiten erfolgen. Es müssen also in höheren Breiten die Transgressionen langsam, die Regressionen rasch vor sich gehen und diese Erscheinungen erfolgen am Äquator gleichzeitig in gegenteiligem Sinne. Es wird also ein wirkliches Zu- und scheinbares Abströmen der Wassermassen in den Polargebieten stattfinden, während am Äquator das Abströmen wirklich, die Transgressionen aber durch Nachsinken der Erd feste vor sich gehen. Es wird also auf der Nord- und Südhalbkugel das Land gegen die Pole zu gegenüber dem Meeresspiegel sich gleichzeitig heben und scheinbar senken, die Überflutungen und Trockenlegungen werden sich da und dort gleichzeitig vollziehen. Es wäre wichtig, diese theoretischen Forderungen mit eventuellen tatsächlichen Erfahrungen über die Dauer des Fortschrittes der Transgressionen und Regressionen in verschiedenen Gebieten der Erdoberfläche in Vergleich zu ziehen.

Die Schwankungen des Meeresspiegels erfahren dadurch eine sehr natürliche Erklärung und auch der säkuläre Wechsel positiver und negativer Phasen am Äquator mit gleichzeitigen negativen und positiven Phasen in höheren Breiten, auf die schon E. SUSS hingewiesen hat. Ebenso hat dieser schon betont, daß in mittleren und hohen Breiten die Transgressionen langsam und die Regressionen rasch erfolgen.

Es entsteht also — auf den jeweiligen Meeresspiegel bezogen — eine Art Schaukelbewegung zwischen Meer und Land, die die Gegend des 55. Parallels als Achse hat, wo die Bewegung fast ausschließlich tangential ist. Diese Bewegungen von Meer und Land

werden weder immer noch überall gleichmäßig erfolgt sein, denn die örtliche Beschaffenheit der Erdkruste und des Erdinnern ist überaus verschieden und es werden dadurch sicher mannigfache Störungen hervorgeufen. Austritte von Magma müssen als Druckentlastung örtliche Störungen der Krustenteile bewirken.

Die äquatorialen Teile der Erdrinde werden sich polwärts verschieben und besonders in den Zonen zwischen 35° und 55° n. und s. Breite, wo der tangentielle Druck am größten ist, Faltungen und Überschiebungen hervorrufen. Die mit geringerer Reibung leichter und daher früher polwärts geschobenen oberflächlichen Partien der Erdkruste werden über die vorläufig noch in Ruhe befindliche Unterlage polwärts bewegt. Da nun aber die Parallelkreise polwärts kleiner werden, so wird in den sich bewegenden Krustenzonen ein Druck quer zur meridionalen Richtung entstehen, der zu Faltungen und Überschiebungen in jeder Richtung führen kann, wobei sich die Leitlinie der Faltung auch krümmen kann. In den Alpen z. B. liegt gebirgsbildende Bewegung in meridionaler und in einer Richtung senkrecht dazu vor.

Infolge der früher viel rascheren Verringerung der Abplattung der Erde müssen alle diese Vorgänge, also auch die Gebirgsbildung, einst unverhältnismäßig viel kräftiger vor sich gegangen sein.

Zwischen dem $35.$ und dem $45.$ Parallel, wo die horizontale Bewegung am größten ist, muß der Widerstand gebrochen werden, den die polaren Massen dem Drängen der äquatorialen entgegensetzen, hier wird es also vor allem zum Biegen und Brechen kommen und dort liegen die Erdbebenzonen der Erde.

Die im allgemeinen polwärts gerichtete Gebirgsbildung kann, wie es in Asien der Fall zu sein scheint, aber auch für eine Bewegung von Norden her sprechen. Wir können niemals die Richtung der absoluten sondern nur die der relativen Bewegung bestimmen. Durch Überlastung von Krustenteilen durch Gebirgshebung kann ein Nachsinken der Kruste erfolgen, das mit vulkanischen Erscheinungen verknüpft ist.

Auch das Vorhandensein einzelner Perioden der Gebirgsbildung, die durch lange Zeiträume relativer Ruhe getrennt waren, findet in der vorgetragenen Theorie eine befriedigende Erklärung, die die Abkühlungs- (Kontraktions-) Hypothese nicht bietet. Ebenso ist die Tatsache, daß die Gebirgsbildung umso allgemeiner war, in je ältere Zeiten wir zurückblicken, dadurch verständlich.

Versuchen wir nun die Ausführungen BÖHM-BÖHMERSHEIM'S für Erscheinungen der Erdoberfläche auszuwerten. Es wird heute wohl von der Mehrzahl der Geologen angenommen, daß unterhalb

der starren Erdrinde eine plastische Kugelschale liegt, die meist als Sima bezeichnet wird. Diese läßt nun die Bewegungen polwärts ganz anders vor sich gehen, wie wenn man mit einem starren Inneren rechnet. Sie pflanzt den Druck des sinkenden äquatorialen Wulstes hydrostatisch fort und fließt polwärts. Sie trägt auf ihrem Rücken die Schollen der Erdrinde, die ein verfestigtes Trümmerwerk sind, mit sich. Diese können also ohne einen Druck zu erfahren, ohne in ihrer Widerstandskraft besonders beansprucht und in ihrer Struktur verändert zu werden, eine horizontale Bewegung ausführen. Dabei werden sie aber, dem BAER'schen Gesetze unterliegend, als mit größerer Winkelgeschwindigkeit behaftet, nach rechts, auf der Nordhalbkugel nach Osten, auf der Südhalbkugel nach Westen abgelenkt. Da die Massen der Erdkruste also ohne Druck polwärts bewegt werden, also auch die Sedimentmassen in den Sedimentationströgen, so können diese besonders zwischen dem 35. und 55. Breitegrade horizontal gleiten und in bedeutende Falten gelegt werden, ohne beträchtliche Änderungen ihrer Struktur zu erfahren. Es erfolgt kein Auffalten der Gebirge, sondern ein Hinabfließen, ein Hinabfalten, ohne Druck. Ostwest-streichende Faltengebirge werden daher große seitliche Bewegung, darunter Überschiebungen, aufweisen, wenig veränderte Gesteine und gut erhaltene Fossilien.

Da aber auch die festen Erdschollen polwärts bewegt werden, erfolgt zwischen ihnen eine Zusammenpressung der meridional verlaufenden Sedimentationströge, wobei ein hoher Druck weitgehende petrographische Veränderungen der Gesteine bewirken muß. Meridionale Gebirge sollen also theoretisch nicht stark seitlich bewegt, aber unter Seitendruck entstanden sein und ihre Gesteine starke Metamorphose und weitgehende Zerstörung der Fossilreste aufweisen. Damit im Zusammenhange wird bei Meridionalgebirgen vertikale Bewegung und Bruchtektonik vorherrschen.

Da bei solchen rasch vor sich gehenden Bewegungen ein Hinüberschlagen über die Ruhelage erfolgt, ist mit einem Zurückfluten der bewegten Massen, einer Rückfaltung, in vielen Fällen zu rechnen, die erst den Gleichgewichtszustand herstellt. Da das Sinken und Auftauchen der Erdschollen in äquatorialen oder polaren Gegenden nicht ganz gleichmäßig erfolgt, ist es begreiflich, daß schaukelnde Bewegungen um Achsen eintreten, wie es wohl auch bei den horizontalen Bewegungen zu erwarten ist. Dies kann man an allen Epirogenen bei den Transgressionen erkennen, wie in Südafrika, Rußland, Nordamerika und anderen.

Man hat versucht, die Transgressionen in einen ursächlichen

Zusammenhang mit den gebirgsbildenden Phasen zu bringen und angenommen, daß durch das Auftauchen der Gebirge Wassermassen verdrängt werden, wodurch ein Ansteigen des Spiegels des Weltmeeres bewirkt wird. Dies müßte also über die ganze Erde gleichzeitig erfolgen, die Transgressionen müßten überall gleichzeitig auftreten, was aber den Erfahrungen widerspricht. Auch sind die dabei verdrängten Wassermassen zu gering, als daß sie eine wesentliche Rolle dabei spielen könnten. Zudem treten die weitestgehenden Überflutungen zu Zeiten ein, die, wie die Jura-periode, keine besonders ausgebreitete Gebirgsbildung erkennen lassen und fehlen in heftigen Faltungsperioden. Weiters haben wir gar keine Möglichkeit, die Bewegungen in den heute noch überfluteten Sedimentationströgen zu erkennen. Neue Erfahrungen lehren, daß sich die ursprünglich schärfer angenommenen Grenzen der Bewegungsphasen immer mehr verwischen. Gebirgsbildende Vorgänge haben begrifflicherweise zu allen Zeiten irgendwo stattgefunden, gradeso wie wohl immer irgendwelche Festland-schollen überflutet waren. Nur tritt gelegentlich und an manchen Stellen die eine oder die andere Erscheinung mehr hervor. Daß also irgendwelche Überflutungen mit Rückzügen des Meeres zusammenfallen, ist daher nicht zu verwundern, aber kein Grund, eine direkte ursächliche Verbindung beider anzunehmen. Beide sind nämlich Folgeerscheinungen des Gleichgewichtsausgleiches der Erdschollen und des Weltmeeres bei Änderung der Umdrehungsgeschwindigkeit.

Die vorkambrischen Epeirogene sind uralte starre Schollen, von Sialgesteinen, die, wie man annimmt, auf dem Simamantel schwimmen. In Europa—Asien ist die Sialscholle etwa 55 km, in Amerika etwa 50 km, im Bereiche des Atlantischen Ozeans 20—50 km stark, während im Polynesischen Becken, dessen Boden eine uralte starre Scholle, ein Pelagogen ist, keine merkbare Sialschicht vorhanden ist. Die Dichte am Meeresboden ist dort 3.05 gegenüber 2.75 auf den Kontinenten und 2.85 auf dem Boden des Atlantik.

Die Epeirogene sind bei den Transgressionen vorübergehend wohl kaum ein paar hundert Meter hoch vom Meere bedeckt gewesen und auf ihnen lagern oft in weiter Erstreckung in geringer, lückenhafter Mächtigkeit die marinen Ablagerungen des neritischen Sedimentationsbezirkes, die oft bei Trockenlegung von der Abtragung leicht entfernt worden sind. Auch auf dem Boden der Tiefsee sind geringe Mengen von Absatzgesteinen abgelagert worden.

Zwischen den Epeirogenen und zwischen diesen und den Pelagogenen liegen die labilen Zonen der Geosynklinalen, uralte Bruchsysteme der Erdkruste, wohl die Stellen, wo Wechsel des Magmas und nachher der Gesteine Schwächezonen geschaffen hat. Sie sind gleichzeitig die Sedimentationströge, wo die Abtragungsprodukte bisweilen in viele Kilometer mächtigen Schichtpaketen aufgehäuft werden. Wir können diese Sedimente und ihre Lithogenese in den Gebirgen der Erde studieren und erkennen, daß sie fast durchwegs in verhältnismäßig geringer Wassertiefe abgelagert sind. Alles deutet darauf hin, daß die unserer Beobachtung zugänglichen Sedimentgesteine weitaus vorherrschend nur in geringer Tiefe gebildet wurden und die Geosynklinalen während ihrer Ablagerung in andauernd langsamer Senkung begriffen waren, die mit dem Betrage der Sedimentation Schritt hielt. Es ist also sehr wahrscheinlich, daß die Last der auflagernden Absatzgesteine eine Senkung des labilen Bodens bewirkt hat, die einem Gleichgewichtszustande entsprach. Die Böden dieser Sedimentationströge können bei der Senkung in solche Tiefen der Erde gelangen, daß sie durch Druck und erhöhte Temperatur umgewandelt werden.

Die Zonen von Ablagerungsgesteinen werden nun in meridionaler Richtung durch seitliche drucklose Bewegung, eine Art Fließen, oder in der Richtung der Parallelkreise durch Druck gefaltet und mehr oder weniger verfestigt. Durch Hebung werden sie zu Gebirgen emporgetragen und an die alten, starren Schollen der Kontinente angeschweißt, vergrößern sie die Epeirogene. Die beweglichen Zonen werden starr und immer enger begrenzt. So ist um Archeuropa im älteren Paläozoikum im Westen das Skandinavische Gebirge, zwischen jenem und dem alten Nordatlantischen Festlande gelegen, angeschweißt worden, sodann im jüngeren Paläozoikum von Süden her die breite Herzynische Zone und nach deren Zerstückung und Abtragung und neuem Absatze im Mesozoikum ebenfalls von Süden her das Alpine System, sodaß heute nur mehr die schmale Mulde des Mittelmeeres als Sammeltrög übriggeblieben ist, wo neue gebirgsbildende Bewegungen für die Zukunft zu erwarten sind. Diese Vorgänge entsprechen sehr gut der Theorie von BÖHM-BÖHMERSHEIM.

In Südafrika sehen wir das Kapgebirge gegen das alte Festland, also gegen den Äquator gerichtet und an das Epeirogen Sibiriens und Chinas hat sich im jüngeren Paläozoikum im Westen das Uralische Gebirgssystem angeschlossen und seit dem ältesten Paläozoikum bis in die jüngsten Zeiten, ähnlich wie in

Europa, der breite Gürtel der zentral- und südasiatischen Ketten. Die scheinbare Bewegung der Falten ist aber hier, wenigstens in den jüngsten Gebirgen, äquatorwärts gerichtet.

Die Nord—Süd verlaufenden jungen Gebirge im Westen von Nord- und Südamerika zeigen meist keine beträchtliche seitliche Bewegungsrichtung, wie es auch in Neuseeland der Fall ist. Heute sind auf der so weitgehend erstarrten Erdoberfläche nur mehr zwei schmale Zonen als tätige Geosynklinalen zu bezeichnen: die zirkumpazifische und die südeuropäisch-südasiatische. Der Niederbruch des Aethiopischen Mittelmeeres, der die Straße von Mozambique geöffnet hat, bildete eine neue Geosynklinale, die aber so wenig Sedimentation aufweist, daß sie kaum als eine gebirgsbildende Zone bezeichnet werden kann.

Die Verteilung der jungerloschenen oder heute noch tätigen Vulkane fällt in den Hauptzügen mit dem Verlaufe der Geosynklinalen zusammen. Sie liegen in dem Gürtel um das Polynesisches Becken (Pazifischer Feuerkreis) und in der südasiatisch—südeuropäischen Zone und in deren Verlängerung nach Mittelamerika. Sie sind aber von den Faltengebirgen recht unabhängig, in denen sie ganz fehlen oder überaus selten sind, wie in den Alpen, Karpathen, im Apennin, Atlas, Himalaja, auf Neu Guinea usw. Sie stehen mit Bruchlinien im Zusammenhang wie in den meridional ziehenden Ketten der Anden, Cascades, Japans, im Bruchfelde Hocharmeniens und anderwärts. Sie reichen bis in die Polarregionen. Es hat sich weiters gezeigt, daß die vulkanischen Erscheinungen verschwinden, wenn die Erdkrinde durch die recht oberflächlichen Faltungen verdickt wird und dadurch wohl die Verbindungen mit dem Erdinnern geschlossen werden.

Auf den Festländern sind sie sichtlich an Grabensenkungen, wie am Mittelrheine, oder an die größte Bruchzone der Erde, den Afrasischen Graben, oder einfache Bruchlinien, wie im Französischen Zentralplateau geknüpft und sie treten im Rücklande der Falten, wie in Oberitalien, im Tyrrhenischen Meere und in Ungarn auf. Bruchlinien bedingen auch die vulkanischen Inselreihen im Indischen, Atlantischen und Polynesischen Becken. Auffällig ist, daß in diesem die vulkanischen Inseln nicht über den 45. Grad polwärts reichen, also wohl auf Unversehrtheit des Meeresbodens in höheren Breiten hinweisen.

Daß Zeiten lebhafter Gebirgsbildung auch Perioden gesteigerter vulkanischer Erscheinungen sind, ist begreiflich, da sie beide mit Bewegungen zusammenhängen, die das Gefüge der Erdkrinde lockern. Da diese Bewegungen früher unvergleichlich viel kräf-

tiger waren. scheinen uns gebirgsbildende und vulkanische Erscheinungen zu erlahmen oder wenigstens heute mehr örtlich beschränkt zu sein. Sie sind ein Zeichen vorgeschrittenen Alters der Erde.

In der Erdgeschichte haben sich unter den vielen festgestellten Änderungen des Klimas über weite Gebiete der Erdoberfläche wiederholt so bedeutende Schwankungen der Temperatur und des Niederschlages eingestellt, daß sie zu weitausgebreiteten Vereisungen in verschiedenen Teilen der alten Kontinente geführt haben. Es ist selbstverständlich, daß die Veränderungen in der Verteilung und Ausdehnung der Festländer, die Öffnung und Schließung von Meeresstraßen, die Abtrennung großer Binnenseen vom Weltmeere und deren Wiedervereinigung und vor allem die Änderungen in der absoluten Höhe der Kontinente stets einen tiefgreifenden Einfluß auf die Ausbildung des Klimas genommen haben. Bisweilen sind diese nun örtlich so beträchtlich gewesen, daß sie zu ausgedehnten Vereisungen geführt haben, die mit dem heutigen Inland-eise Grönlands oder des Antarktischen Kontinents verglichen werden können.

Anfangs hat man nur die der polaren Gebiete in der uns so nahe liegenden Quartärzeit gekannt, dann haben sich eine jungpaläozoische, mehrere altpaläozoische und noch ältere und einige jüngere ergeben, sodaß man eine ganze Anzahl Perioden der Erdgeschichte hat, in denen in den verschiedensten Teilen der Erdoberfläche Vereisungen nachgewiesen sind.

Aus dem Algonkium sind sie in Australien, China, Indien und im Bereiche der Kanadischen Seen, zweifelhaft auch in Spitzbergen und im Kaplande bekannt. Im Kambrium hat man glaziale Blocklehme im nördlichsten Norwegen, im südlichen und nördlichen Australien, in Südafrika?, China und Pennsylvania nachgewiesen und im Devon des Kaplandes sind sie ebenfalls sichergestellt. Zur Permzeit hat eine ausgedehnte Vereisung auf der Indischen Halbinsel mit einer Richtung der Eisbewegung nach Norden bestanden, in Australien von Tasmanien bis Queensland in derselben Richtung, in Südafrika in fächerförmiger Verbreitung von Norden bis in den äußersten Süden und schließlich im südöstlichen Brasilien und Argentinien, wo die Bewegung in mehr oder weniger nördlicher Richtung erfolgte. Gerade einige der heißesten und trockensten Gebiete der Gegenwart sind damals vergletschert gewesen und das Festland am Südpol war wohl auch von einer Eisschicht bedeckt. Außerdem kennt man Eisspuren aus dieser Zeit im Ruhrgebiete in Deutschland, die wohl von einem Gebirgsgletscher herrühren

und in der Umgebung von Boston, Mass. Als man nur die drei Vereisungen rings um den Indischen Ozean kannte, konnte man versucht sein, ein Festland im Gebiete dieses Meeres anzunehmen und den Südpol dorthin zu verlegen. Durch die Entdeckung ähnlicher Vorkommnisse in Südamerika ist dies unmöglich geworden. Der Südpol hat eine von der heutigen nicht sehr verschiedene Lage gehabt und die genannten Gebiete waren eigene Vereisungszentren. Spuren von Vereisung hat die Trias von Zentralafrika und das Alttertiär Colorados geliefert.

Wegen ihrer zeitlichen Nähe und des großen Einflusses auf das organische Leben der Gegenwart, ist die quartäre Eiszeit für uns von allergrößter Bedeutung. Ein großer Teil der Polarregionen, wenigstens im Umfange eines Viertels der ganzen Festlands-oberfläche war damals vom Eise bedeckt. Wir sehen es von einem Zentrum in Hochskandinavien über Finnland, die Ostsee und einen großen Teil Rußlands bis nach Kiew, über die ganze Norddeutsche Ebene bis ans Riesengebirge und nach dem südlichen England vordringen. Der nördliche Atlantische Ozean war bis Island herab von Schelf- und Packeis bedeckt und Grönland mächtiger als heute vergletschert. Der größte Teil Kanadas und weite Gebiete der Vereinigten Staaten waren von drei Zentren aus, die in Labrador, im Gebiete der Hudson Bay und in den Kanadischen Rocky Mountains lagen, bis zum 38. Breitengrad im Osten und dem 48. im Westen vom Eise bedeckt. Der größte Teil Sibiriens trug Bodeneis, während sich wohl wegen zu geringer Niederschläge oder wegen mangelnden Gefälles keine Eisbewegung einstellte.

Auch auf der Südhalbkugel war die polare Vereisung viel mächtiger als heute, so auch in Patagonien und wohl auch das Schelfeis besaß dort eine größere Ausdehnung. Diese Eismassen hatten begreiflicherweise einen tiefgehenden Einfluß auf alle physikalischen Verhältnisse der Erdoberfläche. Wohl als sekundäre Erscheinungen, aber auch infolge ihrer kurz vorher stattgefundenen Erhebung, zeigen viele junge Hochgebirge der Alpen-Himalaja Zone und der Pazifischen Umrahmung sowie viele Mittelgebirge, wie z. B. die Mittel-Europas, eine beträchtliche Eisbedeckung. Nur die höchsten Gipfel der Alpen ragten aus dem Eismantel auf. Auch Hohegipfel der Tropen, wie Kilimandscharo und Mauna Kea waren vereist.

Die Mächtigkeit des Nordeuropäischen Inlandeises ist wohl geringer gewesen als man früher angenommen hat und dürfte 500 m nicht überstiegen haben. Es drang über Leipzig bis an das Riesengebirge vor und schmolz dann völlig ab, sodaß auch die

Gebirge Skandinaviens eisfrei wurden. Es hat damals ein wärmeres Klima geherrscht als heute. Dann schob sich das Eis wieder bis an das Riesengebirge vor, schmolz sodann bis nach Mittelschweden ab und drang aufs neue bis an die Elbe bei Magdeburg vor. Dann zog es sich mit Stillständen und kleineren Vorstößen in die Hochgebirge Skandinaviens zurück, wo heute noch Plateaugletscher als seine letzten Reste liegen. Es lassen sich also zwei große Vereisungen und in der zweiten eine bemerkenswerte Unterbrechung durch eine Klimabesserung erkennen. Ob man von drei Eiszeiten spricht, ist nur eine belanglose Frage, die davon abhängt, was man unter Zwischeneiszeit versteht. Man wird aber als Interglazial wohl nur eine solche Periode bezeichnen können, deren Klima mindestens so gut war wie heute, sodaß also die kleineren Klimaschwankungen bei einer solchen Gliederung keine Rolle spielen können.

Bei der Beantwortung der Frage nach den Ursachen der Eiszeit muß man erwägen, unter welchen Umständen unter allen Breiten Vereisungen stattfinden können, ohne die allgemeine Temperatur auf der Erdoberfläche herabzusetzen. Man hat ursprünglich die Annahme gemacht, daß eine Verringerung der Wärmeausstrahlung der Sonne, z. B. infolge stärkerer Sonnenfleckenbildung oder der Durchgang unseres Sonnensystems durch einen kälteren Teil des Weltraumes oder durch eine Nebelmasse (Orionnebel), eine allgemeine Temperaturabnahme hervorrufen könnten. Sie ist aber ebenso wie die Vermutung anderer kosmischer Ursachen nicht zu beweisen. Es hat im Gegenteil den Anschein, daß die Vereisungen lokale Erscheinungen gewesen sind, wie uns die fortbestehenden reichen Floren zeigen. Die Änderung der Lage der Erdachse zur Ebene der Erdbahn oder dieser selbst im Weltraume ist für die Zeit der Vereisungen nicht zu beweisen und würde auch gar nicht die erwarteten Folgen haben. Man hat einer Änderung des Kohlen säuregehaltes der Luft eine ursächliche Bedeutung zugeschrieben, da durch sie der Einfluß der Sonnenstrahlen und auch die Ausstrahlung der Wärme beeinflußt würden. Man hat zu diesem Zwecke eine Vermehrung und Verminderung der Kohlen säurezufuhr bei Eruptionen für diese Zeiten mehr oder weniger willkürlich angenommen, die gar nicht im Einklange mit der bekannten Größe der damaligen vulkanischen Erscheinungen stehen. Weiters sind die Meinungen darüber geteilt, welchen Einfluß eine Vermehrung des Kohlen säuregehaltes der Luft auf den Wärmehaushalt der Erdoberfläche ausüben würde, da dadurch die direkte Sonnenbestrahlung dieser wohl verringert, die Erwärmung der

Atmosphäre aber wohl vergrößert und außerdem die Wärmeausstrahlung der Erde behindert würde.

Im Gegensatz zu allen diesen Theorien sind die Schwankungen der Kontinentalschollen tatsächliche Vorgänge, mit denen wir zu den verschiedensten Zeiten der Erdgeschichte rechnen müssen. Die Hebung eines Landstriches um 200 m verursacht eine Verminderung der mittleren Jahrestemperatur um 1° C. Man hat berechnet, daß deren Sinken um $2-5^{\circ}$ die Entstehung der diluvialen Eiszeit erklären kann. Das bedeutet aber nur eine Hebung des Landes von 600 m, die ebensowenig wie eine solche von 1000 m und darüber gegenüber den Maßen der Erde ins Gewicht fällt. Wir wissen, daß in der Quartärzeit Skandinavien und weite Gebiete Kanadas um Beträge gehoben waren, die diesen Werten nahekommen oder sie sogar übersteigen.¹ Weiters sind in diesen beiden Gebieten zum Schlusse der Quartärzeit Überflutungen des Landes eingetreten, also Senkungen erfolgt, von denen hochgelegene Strandlinien Zeugnis geben. Wenn also das Ende der Vereisungen mit einem Sinken des Landes im Zusammenhange steht, so ist es wohl logisch anzunehmen, daß ihr Beginn mit einer Hebung verknüpft ist. Nach dem Rückzuge der letzten Vereisung war Skandinavien eine Insel, die Flora zeigte nordischen Charakter (Yoldiazeit). Dann trat Hebung des Landes ein, die Ostsee bildete ein Süßwasserbecken, es herrschte subarktisches Klima, das eine höhere Temperatur verrät (Ancyluszeit). Durch Senkung des Landes trat wieder eine Verbindung mit dem Atlantischen Ozean ein mit einem um vielleicht 2° wärmeren Klima als heute (Litorinazeit). Hierauf erfolgte neuerlich eine Hebung, die zu den heutigen Verhältnissen (Myazzeit) führte. Dies zeigt, wie beweglich die alte Festlandsscholle Nordeuropas selbst bis in die jüngste Zeit ist, in der eine fortgesetzte Hebung heute bis etwa 200 m festzustellen ist.

Auch in der permischen Zeit sehen wir die Ablagerungen der Vereisungen wie in Südwestafrika und Australien stellenweise von Meeresbildungen überdeckt. Es fällt also auch dort das Ende der Vereisung mit einer Senkung des Landes zusammen. Es wäre wichtig, dies in anderen Gebieten und auch bezüglich der älteren Vereisungen zu untersuchen.

Die wohl mehr oder weniger einseitige Hebung der Kontinentalschollen gibt auch die Neigung der Erdoberfläche, die für

¹ Vergleich O. HOLTEDAHL, Geologische Karte der Arktis, Aeroarctic, Internationale Gesellschaft zur Erforschung der Arktis mit Luftfahrzeugen, Gotha 1930.

eine einseitig gerichtete Bewegung des Eises auf Hunderte oder sogar tausend Kilometer erforderlich ist.

Während der diluvialen Vereisung herrschte im Wüstengürtel und in den Tropen eine Vermehrung der Niederschläge (Pluvialzeit), aber es läßt sich keine Temperaturabnahme feststellen. Es ist also keine allgemeine Abkühlung zu erkennen, sondern eine Verschärfung des Gegensatzes zwischen den nichtvereisten und den gehobenen vereisten Gebieten.

Die älteren Vereisungen sind unregelmäßig auf der Erdoberfläche verteilt und durch Hebung der verschiedenen Gebiete leicht zu erklären. Die quartäre Eiszeit erscheint uns vielleicht nur wegen ihrer zeitlichen Nähe und ihres Einflusses auf die Organismenwelt als die größte. Ihre symmetrische Anlage um die Pole ist auffällig. Es muß also eine wiederholte, mehr oder weniger symmetrische Hebung und Senkung der polaren Gebiete angenommen werden. Das entspricht sehr gut den erwähnten Folgeerscheinungen der Gezeitenbremsung und erklärt ungezwungen die wiederholten Eisvorstöße.

Auffällig ist vielleicht die Tatsache, daß gerade aus der jüngsten Zeit der Erdgeschichte symmetrische polare Vereisungen bekannt geworden sind und nicht auch aus früheren Perioden. Dies hat vielleicht seinen Grund in der höheren Temperatur der gesamten Erdoberfläche infolge der Eigenwärme der Erde, die sich besonders in den Polargebieten bis in das Jungtertiär noch stark bemerkbar gemacht hat, während sie in niederen Breiten ohne größeren Einfluß gewesen ist. Dadurch ist vielleicht in den hohen Breiten das Vorkommen einer jungtertiären subtropischen Flora zu erklären. Es hat den Anschein, als ob mit dem Ende des Tertiär eine rasche Abkühlung eingetreten ist, die eine schärfere Ausbildung der Klimazonen bewirkte. Damals hat die geringe Hebung des Festlandes im Polargebiet also schon eine Vereisung hervorrufen können, die in früheren Perioden nicht erfolgt ist.

Eine wertvolle Stütze für die Erhebungstheorie der Vereisungen ist das längst erkannte Zusammenfallen dieser mit dem Ende gebirgsbildender Phasen. Es hat den Anschein, als ob das durch die Faltung gestörte Gleichgewicht der Erdrinde durch Schwankungen der starren Schollen ausgeglichen wurde. Dadurch wird die Unabhängigkeit der Vereisungen von irgend welchen anderen Erscheinungen der Erdoberfläche verständlich. Ihre Ursache liegt in der Erd feste und schließlich in kosmischen Einflüssen.
