

A. Wegener

The origins of continents

Geol Rundsch 3:276–292

Translation received: 28 February 2002
© Springer-Verlag 2002

Introduction

The following is a first attempt to explain the origins of large Earth features, or the continents and ocean basins with a comprehensive principal, namely continental drift. Wherever once continuous old land features are inter-

Lecture held on the general meeting of the Geologische Vereinigung in Frankfurt a. M. on 6 January 1912. The following is an extract from a larger work with the same title that appears on Petermann's communication. The essential contents of this study were presented during the annual meeting of the Geologische Vereinigung in Frankfurt a. M. under a title "Die Herausbildung der Grossformen der Erdrinde (Kontinente und Ozeane), auf geophysikalischer Grundlage "and again on 10 January at the "Gesellschaft zur Förderung der gesamten Naturwissenschaften zu Marburg" with the title "Horizontalverschiebungen der Kontinente".

Translated by Roland von Huene

Translation note: This translation was made onboard the research vessel *Sonne* during a scientific cruise. After leaving the harbour I discovered that the file of my initial work was lost and begin again. My German shipboard colleagues became my technical dictionary. As a scientist rather than linguist or translator I attempted to compose an easily read English account conveying ideas rather than a literal conversion from the original German. The reader searching for an exact literal translation should consult the original German text. Foremost in this effort was to show Wegener's thinking and his construction of the continental drift argument. I tried to avoid terms employed in plate tectonics but soon found it difficult not to occasionally use the term plate for "Scholle". Wegener picked up on many arguments voiced by others of the time and assembled them into his own comprehensive argument. Indeed, from today's perspective, and by his own admission, strong arguments were mixed with weak and fallacious arguments, so it was easy for opponents to refute the latter and thereby claim that the whole scientific argument was wrong. I remember seminars of my student days at UCLA where the whole idea was lambasted because there was no discontinuity at the proper depth to slide continents half way around the Earth. I was amazed during translation how much of the present "new geoscience" is contained in this initial paper and in the works of Hein, Suess, Wallace, and others of the time.

R. von Huene (✉)
2910 North Canyon Road, Camino, CA 95709, USA
e-mail: rhuene@mindspring.com

rupted at the sea, we will assume continental separation and drift. The resulting picture of our Earth is new and paradoxical, but it does not reveal the physical causes. On the other hand, even with only an initial argument, many surprising simplifications and interdependent connections are evident so that it seems correct to substitute the new more usable working hypothesis in place of the old hypothesis of submerged continents. The long life of the latter comes from its usefulness as a counter-argument to ocean permanence. Despite its broad basis, I would prefer that the new principle be used as a working hypothesis until exact astronomical measurements establish a more lasting basis for the horizontal movements. In judging single aspects of the hypothesis one should remain aware that in the first version of such a comprehensive idea single mistakes cannot be avoided.

On the basis of general geology and geophysics, we will first discuss how, if at all, large horizontal drift of continents in an apparently stiff Earth crust can occur.¹ Thereafter, we will make an initial attempt to follow the existing rifts and movement of the continents in Earth history. The connection of continental drift with the construction of major mountain ranges will be revealed, and finally we will discuss the closely connected polar wander and the measurement of continual continental movements.

It has been said that the idea of rigid areas rifting apart has already been often brought up. W.H. Pickering uses it in connection with the obviously false hypothesis of extraction of the moon from Earth, during which America parted and drifted from Europe and Africa. More important is a work by Taylor in which he proposed the Tertiary separation of Greenland from North America and connects it with the building of the Tertiary mountains.

For the Atlantic he assumes that only a small part was accomplished by the pulling away of the American continent and that the Mid-Atlantic Rise is the remains of

¹ This part is extremely condensed. Please note the more detailed discourse in Petermann's Mitteilungen.

the connecting segment. In the following we interpret the rise as a former rift feature. One finds that Taylor's work contains some points that are in the following presentation, but he failed to realize the immense and extensive consequences of such horizontal movements.

Geophysical arguments

Heim, in 1878, described the continents as broad massive elevated platforms. And, in fact, the hypsographic curve of the Earth's surface shows clearly that there are two main elevations, namely the surface of the continents (700 m above) and the deep sea floor (4,300 m below sea level). The lowest parts of the continents lie up to 500 m below sea level (the shelves). European geologists for the most part accept the contraction theory, which is so dramatically illustrated by the dried apple. Suess summarizes it in the expression, "it is the collapse of the Earth with which we live". In the time since this useful analogy was proposed by Heim serious considerations have been raised and E. Boese, for instance, characterizes the current rationale. The contraction theory is no longer widely accepted and in the interim no theory has been found that completely explains all circumstances observed. In particular, the contraction theory must be abandoned because of geophysical considerations. The seminal apparent principal that the Earth is cooling has not remained untouched because, from research on radium, the question has been raised as to whether the temperature of the Earth's interior is increasing. Because one can say that in all likelihood the Earth's core is formed of compressed nickel steel, it is apparent that simple cooling is not sufficient to account for the large folds in the Earth's shell, especially since the recognition of large folded overthrust sheets. The inferred stress in the outer skin and concentrated contraction of only a single side of a great circle has been found impossible. Molecular strength is insufficient to support the thrusting of a 100-m-thick sheet over another. The sheet of rock would not move, but break into pieces (Rudzki) or as Loukaschewitsch says it "les forces molaires l'important sur les forces moléculaires". The Earth's outer shell could in this way experience a weak and above all very uniform roughening as Ampferer, Reyer and others have correctly put forth. Furthermore, it is difficult to envision how the processes of Earth contraction in one instance causes roughening and, in another, the subsidence of enormous areas and development of horsts. Above all, these ideas are contradicted by gravity observations, showing that the floor of the ocean is composed of more dense and different material than the continental areas. These unsubstantiated conclusions have been justified on the ever clearer evidence that essentially all sediment on the continents originated through gradual transgressions. The dubious teachings regarding permanence of the oceans can be attributed to such names as Dana and Wallace, which Bailey Willis declared "outside the category of debatable questions". With justification, European geolo-

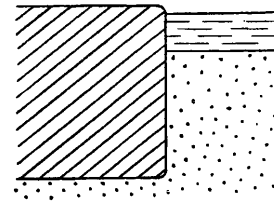


Fig. 1 Schematic section through a continental margin

gists hesitate to accept this teaching because we cannot see how the wide earlier land-bridge could span the ocean. We remain skeptics regarding the unsubstantiated collapse of the Earth. Both sides derive key premises, which are further elaborated. We will attempt to show that the basic premises of both views can be answered through rifting and horizontal drift of the continents.

The gravity measurements at sea, namely those of Hecker, show that the ocean crust is not only composed of material of greater density than the continents, but that the density is equivalent to the mass deficit of the ocean water and thereby compensates for the oceans. The many investigations of isostasy are well known, both those regarding methodology, but also its validity. I will not go into these, but point out that for larger regions such as continents and oceans, or for large mountain masses, one can assume isostasy whereas for single mountains and particularly plateaus, the total mass is supported, but not isostatically compensated. Other features of unknown tectonic structures are similarly uncompensated.

One can visualize the boundaries between the light material of the continents and the heavy material of the ocean floor in various ways. The presentation of Airy (1855) which was then used by Stokes and more recently by Loukaschewitsch that a dense magma supports a thick light continent and a thin heavy ocean, is currently accepted. In the following, we take another tack that is equally justifiable and, as will be shown, has other advantages. It is pictured in Fig. 1. Continents are pieces of lithosphere embedded in a heavy material.

One can assume that the thickness of continental plates is around 100 km. Hayford found from deflection of the vertical in the United States a value of 114 km, although not without some questionable assumptions. Helmert, using another approach, namely pendulum measurements at continental margins, came to a similar value of 120 km. Recently, Kohlschuetter came to the same result using the same approach. If we take the view that an approximate middle value is 100 km, then 50 km may be in order for some places in the world and one can expect 200 km in others. The variable heights of the sea must correspond with a strong variability in thickness of the lighter plate. Similar conclusions with larger uncertainty in the numbers are encountered in earthquake research. It was not just determined through waveforms in the Eigenperiods of the Earth's crust (Wiechert), but also with the help of reflected rays from earthquake data and from the source depths of earthquakes.

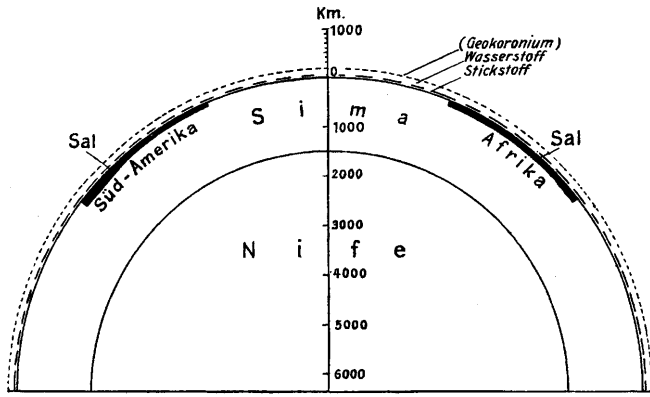


Fig. 2 Section along a great circle through South America and Africa which are shown as separated large features

To illustrate the large-scale relationships, Fig. 2 contains a section through the Earth along a great circle between South America and Africa. The unevenness of the Earth's surface and the great depths of the Atlantic Ocean are small enough to be contained within a circular line describing the Earth's surface. For comparison, the figure also contains the iron core of Wiechert and the main atmospheres: the nitrogen sphere, water sphere and an upwardly unconstrained sphere, the theoretical Geokoronium. The zone of clouds (troposphere) is not thick enough to be shown.

It is now necessary to clarify that the sediments are an unremarkable part of continental structure. Commonly, the total thickness of sediment is cited in multiple kilometres and these are maximum values because in adjacent areas the source of these sediments is exposed. But only when we consider isostasy does it become obvious how little sediment is visible in the larger features. If the sediment were stripped from the continents, the Earth would rise to the same level again and the Earth's relief would change little. From this it is obvious that continental plates are forms of a higher order compared with the secondary and more superficial role that erosion and sedimentation play. They can develop into a basement rock whose fundamental nature is not arguable. If we constrain ourselves to the major representative rock type, one could say the continents are gneiss.

In his great three-volume work "Antlitz der Erde", Suess (pp. 626) introduced the name 'sal' for these rocks whereas eruptive volcanic rock was called 'sima'. The latter differ not only chemically, but also physically from the former. They vary greatly and are on average denser than salic rock with a 200–300° higher melting temperature. The assumption is not too remote that dense materials of the oceans are identical to sima, an assumption that is confirmed numerically with specific gravities. The continents are 2.8, and from the ocean deeps a specific gravity of 2.9 can be calculated. This is a good average value for sima.

In considering further the physical properties of these rocks, as well as the assumed temperatures for the

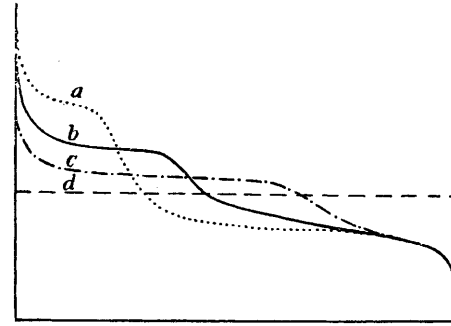


Fig. 3 Hypsographic curve of the Earth's upper layer: **a** in the future, **b** the present, **c** in the past

Earth's interior, one concludes that both materials, sal and sima, must be plastic. It also concerns the paradoxical, as exemplified by black tar. If you let a piece sit for longer time it flows by itself: small lead pellets sink into it after a time; but when dealt a hammer blow it shatters like glass. The duration over which such materials react is a factor. From this overview one must conclude that there are no objections to possible, unusually slow, but large horizontal movements of the continents under a steady force during geologic time.

Because mountain building indicates continental contraction where the surface contracts and the thickness increases, and because such mountain building occurred during all geologic periods, one can explain the gradual elevation of the continents above the oceans. This process must be one-way because there cannot be a pull to undo contractile deformation, only a rifting of the continent. We have a progressive process through which the probable conservative salic Earth's crust loses area and gains thickness. Figure 3 illustrates this with hypsographic curves for the past and future. During early ancient time, a roughly 3-km-deep Panthalassa covered the whole of the Earth's surface, and the sea was not divided into shallow and deep areas until the continents emerged. The process has not ended yet and will only be finished after a further uplift of 0.5 km. In this way, past transgressions of a larger extent than the current ones can be explained.

During the rifting of plates, the underlying hot sima must be released, which produces submarine lava flows. This appears to be the case along the mid-Atlantic swell. Because submarine eruptions are silent and the feeder pipes allow lava to rise only to isostatic equilibrium, and if there are no unusual pressures to drive lava higher, the opening of a rift will produce no catastrophic displays. The trailing flank of rifted blocks will be less volcanic than the frontal flanks where pressure is greater. Perhaps this is an explanation for the non-interdependence of volcanoes and rifts as noted by Geikie and Branca.

From the above, one must expect that because of large horizontal movements there are periods in the

Earth's history of accelerated and diminished volcanism. Note that, in fact, the time of greatest drift assumed by us, the Tertiary, is recognized for vigorous volcanism whereas, during the prior Jurassic and Cretaceous, drift and volcanism was less.

We are not yet able to explain the cause of drift. It is likely to be attributed to extraction of the moon from Earth, which is consistent with a preference for rifting along meridians. This is shown by the shapes of the continents, namely the convergence of oceans toward the poles. Currently it is easiest to recognize toward the old South Pole where the rift configuration has not been disturbed by contraction. Also in the Bering Strait, where the North Pole was probably located in earlier times, land pinches out, only here, through later contraction, the configuration was altered. Perhaps at some time continental drift may be considered coincident with currents in the Earth. I believe the time has not yet come for an analysis of cause.

Geological arguments

Faults bordering graben

Before we follow processes of continental division and contraction through the Earth's history, be advised that a first attempt will be incomplete regarding some points and possibly wrong in others. The attempt must be evaluated. Once the main points are established, it will be no problem for further research to extract the mistakes.

In studying the tectonics of graben faulting, the gravity measurements are ignored and most persons are satisfied after establishing that the upper layers of the Earth are depressed along linear trends. But gravity measurements show that, in most cases, the specific gravity of material under the graben is greater than that of the adjacent area. So we must assume that we are dealing with a rift in the continental crust in which heavier sima has risen to establish an isostatic balance. As one can compute, when the sima is still 3.5 km deep, such a deep rift will naturally be filled with slides from the graben sides so that it is no wonder when a fill of surface materials occurs similar to what Lepsius showed from drilling in the upper Rhine valley. In my opinion, we can consider all graben as the beginnings of rifts. It may be that we are dealing with some truly recent structures, whereas others may be older attempted rifts in which the forces have relaxed. A very interesting example is the east African graben and its continuation through the Red Sea to the valley of Jordan. Suess considered this from purely geologic evidence as a large cleft. Kohlschuetter made a series of gravity measurements in this area of which most are out of isostatic balance and, except for the obvious defects in structure, they indicated a low density layer. With this overall picture of rifts, which penetrate into, but not through the continent, the heavy sima has not completely risen in them. The graben forming the continental margin show an isostatic compensation. That

means that here the heavy sima rose fully up into the wide rift. This holds true for the width of the Red Sea as was found by Triulzi and Hecker.

Atlantic and Andes

The general parallelism of the Atlantic coasts should not be underestimated as an argument that these boundaries represent a huge broadened rift. With only a cursory look at the map one recognizes similar mountain ranges on either side (Greenland and Scandinavia), fault zones (Middle America–Mediterranean) and planar regions (South America–Africa) with congruent morphology. In addition, in the parts that are best known, namely Europe and North America, the rocks have continuity on either side. Suess discussed this relationship in various places in his great work. The northern zone is composed of gneiss on both sides; in western European terrains it is the gneiss zone of the Lofoten and Hebrides, to the west is the gneiss massif of Greenland. Also the west coast of Davis straits and Baffin Bay is composed of a gneissic mountain range that can be followed southward through Cumberland and Labrador to the Belle-Isle Strait.

Most convincing are the comparisons between the Carboniferous southern foothills structures of the mountains called the American by Suess and their apparent continuation as the Carboniferous coal deposits of North America, as first pointed out by Marcel Bertrand (1887). These locally well-eroded mountains emerge from the interior of the European continent in an arc that begins WNW and then trends west along the west coast of Ireland and Brittany to build a wildly deformed coast (the so called Rias coast). It would be contrary to all previous learning to consider the Rias coast between Dingle Bay and La Rochelle as the natural termination of this massive structure. Its continuation is to be found under the Atlantic Ocean (Suess).

The continuation on the American side are the Appalachians in Nova Scotia and Newfoundland that trend seaward. Here the Carboniferous fold belt is deformed with a northward vergence, like the European deformed belt, with the typical geomorphology of a Rias coast. Its trend changes from north-east to east. Carboniferous fauna and flora are not only identical, but the ever increasing collection of older strata are identical as well. The many investigations of Dawson, Bertrand, Walcott, Ami, Salter and others are beyond the scope of this discussion.

This ripping apart of these transatlantic "altaiden", as Suess called them, exactly across from each other, is the strongest case for the juxtaposition of these coasts. Older assumptions, that the connecting mountains sunk into the Atlantic as proposed by Penck, run into difficulty because the missing part must be longer than the known part.

Further south, the regions are not sufficiently well investigated to draw comparisons. Yet B. Le Gentil believes that the High Atlas continues to the Canary and Cap Verde islands and then the Antilles. Based on a

comparison of flora and fauna, Engler came to the conclusion that a continental connection existed between coastal points, namely northern Brazil south-east of the Amazon river mouth, and the Bai of Baifra (Kameroun). Suess, in comparing both sides of the Atlantic, commented on a striking similarity with the results of Engler. However, a detailed comparison remains for future investigation.

In addition to this so-to-say anatomical description, two interesting questions, which in perspective may appear particularly important, will be touched on only briefly. First the question if on the basis of palaeontological descriptions we can possibly make the connection between America on one side and Europe and Africa on the other up to a specific point in time. Secondly, if this is the case, when did separation occur? Both of these familiar questions have long been worked on and every new theory that comes along is immediately used to correct previous assumptions. These questions are independent of whether one assumes continental drift or submergence of a land bridge. On these grounds it is sufficient to give a short sketch as to what has previously been concluded. First, let's bring up the points that have made palaeontological results difficult for us: the transgressions. Even for gradual transgressions that can be divided by their fauna and flora, the decision of whether the division is from rifting or transitional seas is difficult.

Concerning South America and Africa, biologists and geologists are in close agreement that a Brazilian–African continent existed in the Mesozoic². V. Ihering called it “Archhelenis”. The newer work of this author and others like Ortman, Stromer, Keilhack and Eigenmann date the separation with increasing certainty in Tertiary time and specifically at the end of the Eocene or beginning of the Oligocene³. The exact determination of the time is naturally the object of further palaeontologic research. In our hypothesis the great and nearly meridional rift was formed during this time and the opening of the Atlantic began.

A broad connecting land is also assumed between Europe and North America in older Tertiary time, making similarity of coastal configuration possible. Already in the Oligocene it slowed and in the Miocene it stopped altogether. We can assume that the opening of the rift migrated slowly from south to north. Later rifting took place in Europe and North America, at least in the far high northern latitudes of Scandinavia and Greenland. In our view, North America, Greenland and Europe were still connected during glaciation and the sheet of ice had a much smaller extent than has been assumed till now. This does not simplify our understanding of the glacial phenomenon. The picture also agrees with the fact that a steppe climate dominated Europe during interglacial

time, as shown by the many remains of steppe animals and is not explainable considering the current proximity of the deep ocean in the west⁴. So, in these times, the North Atlantic was a small arm of the sea that could not yet influence the climate of Europe.

A further interesting relation occurs between North and South America. As Osborn first thought, and was developed further by Schaff, an unconstrained connection between these two continents existed until the beginning of the Tertiary time, broken only towards the end of the Tertiary (Pliocene according to Kayser), to be then re-established in its present form. Until now this pre-Tertiary land-bridge was sought in the area of the Galapagos. We assume it was simply constructed of the north-western African area and was broken during rifting of the Atlantic. It was re-established simultaneously with folding of the Andes in its narrow form.

Because folding of the Andes is of the same age as opening of the Atlantic Ocean, a concept of its origin is a given. During rifting, the American continents migrated westward against the probably old and rigid Pacific Ocean floor, which caused the broad shelf with its thick sediment to contract into folded mountains. This example shows that the salic crust can also be plastic and the sima can behave relatively stiffly. We can assume it likely that sima also deformed so that folding of the Andes does not require a shortening equivalent to the full width of the Atlantic. If we consider the earlier discussed nappe construction, which like in the Alps involved a four to eight times wider area before folding than after folding, then I see nothing contrary to this combination of drift and mountain building.⁵

Gondwanaland

If we apply our previous insights regarding the association between folding and horizontal drift onto the Tertiary folding of the Himalayas, we find a series of surprising relations. If every plate that produced the highest mountain on Earth during collision were of the same size as nappe theory predicts the plates of the Alps were, then a long peninsula must have extended from India whose southern extremity reached the extremity of South Africa. This contractional collapse of a long peninsula explains the unique conditions that surround India “ringsum ein Bruchstueck” Suess.

Indeed, based on palaeontology, this kind of an extensive Indo-Madagascar peninsula called “Lemuria” has been assumed for some time. Before its inferred

⁴ They are sometimes explained by the eastern wind associated with the zone of high pressure above the sheet of ice. Yet, that should not be present in interglacial periods when there are no sheets of ice.

⁵ The author would like to point out especially that it was necessary to use a schematic presentation. Particularly in North America only the westernmost ranges of the Cordillera are of Tertiary origin, and are getting progressively older towards the east. Of course, only Tertiary folds can be related to the separation of America from Europe.

² For comparison, among others: ARLDT, “Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt. Leipzig 1907.

³ According to Haug and Kayser the separation took place before the beginning of Miocene, V. Ihering, Ortman and Stromer date it Eocene, Stromer and Eigenmann suppose that there was still a connection in late Eocene.

submergence it was for a long time attached to the African block and was then separated from it by the widening Mozambique Channel. In our opinion, it migrated north because of the wide meridional rift. According to Dacque and others, this rift had already formed in the first period of the Mesozoic, namely the Triassic, because in the early Jurassic (Lias) the separation had taken place. Douville also concludes that Madagascar had no connection to Africa in the Triassic. If this is true, this rift between the Indian Peninsula and Africa formed earlier than the one in the South Atlantic Ocean. Contraction of the Indian peninsula was probably not active until the Tertiary and apparently it continues today.⁶

Furthermore, palaeontological discoveries leave no doubt that Australia once had a direct connection with India, as South Africa and South America once had. This extensive continent, recognized by its current remnants of unchanged size, is called "Gondwana-Land". We must assume that the Australian continent was also part of the ancient continent that separated during the course of geological time. Australia's separation from Africa and India appears to have occurred at the same time (Triassic) as the latter two separated from one another. In the Permian these were connected as will be shown in more detail below, and in the Jurassic they were not. On the other hand, Hedley, Osborn, and others state that a connection with South America remained until the Quaternary. This connection probably went through the South Polar continent, but because of little knowledge about this continent the connection is uncertain. Meanwhile it appears that the west coast of Australia was earlier connected with the east coast of India until the Triassic as previously mentioned, whereas the south coast was still bound to the Antarctic. Thereafter, the Antarctic continent migrated from South Africa to the Pacific side in a similar manner as South America. The large mountain chain, of which we only know the ends in Graham-land and Victoria-land, is considered by many to be a direct continuation of the Andes. Australia only parted in the Quaternary and along its east coast it still maintained connection to the Antarctic Andes, which later became New Zealand. These ideas should be viewed as an initial conjecture as mentioned before.

The map of the Australian area seems of importance in that this continent and its projection New Guinea travels north, and collides with the southern projection of India. Wallace first noted the great difference between the Australian and New Guinean faunas compared with the sub-Indian ones of Sunda, which are currently con-

⁶ In geology, mountain building is commonly regarded in the context of a one-sided force. In particular, the Himalayan mountain building is regarded as coming from the north and not the south. On the contrary, the well-known principle in physics of equal and opposite forces must be noted. Observed asymmetrical structures do not result from one-sided forces, but from other factors such as the differences in size and thickness of the plates, or frictional behaviour that neutralizes the above arguments.

sidered fortuitous.⁷ Whether the high mountains of northern New Guinea are a product of this northward drift is not yet definitive.

Permian glaciation

One of the strongest proofs of these ideas are to be found in Permian glaciation (some say Carboniferous), the traces of which have been observed at some places in the southern hemisphere, but are missing in the northern hemisphere. This Permian glaciation was the concern of palaeogeographers. These undoubted moraines on abraded basal surfaces are found in Australia⁸, South Africa⁹, South America¹⁰ and above all in east India.

Koken showed in a special treatment of this subject and on a map with the current distribution of land, that such a large extent of a polar ice cap is impossible. Even if one considers the South American discoveries uncertain, which is hardly possible anymore, and we place the pole in the best position namely in the middle of the Indian Ocean, the most distant inland ice is still 30–33° across. With a glaciation of this magnitude no part of the Earth's surface would have been ice free. With such a south polar location, the north pole would fall in Mexico where no trace of Permian glaciation is found. The South American glacial outcrops would lie on the equator.

Therefore, without continental drift, the Permian glaciation poses an insoluble problem. As Penck has stated, even without all the other arguments, these conditions have brought forth "die bewegung der Erdkruste im horizontalem Sinne als eine ernsthaft in Erwägung zu ziehende Arbeitshypothese das Auge zu fassen" (horizontal movement of the Earth's crust is to be viewed as a development of a thoughtful working hypothesis).

If we apply the ideas previously developed and reconstruct the Permian glaciation, all the glaciated areas are concentrated at the pointed south end of Africa, and it is only necessary to place the south pole in a greatly reduced area. This appears to remove the unexplained points. The north pole was located approximately in the Bering Strait. We will return to the old pole location and the migration of the pole below.

Atlantic and Pacific side of the Earth

The gross morphological differences between the Atlantic and Pacific sides of the Earth have been noted for

⁷ "Wallace's border", which mainly applies for mammals, runs through the Lombok Strait between the Sunda Islands of Bali and Lombok and through the Massakar Strait, thus it does not completely correspond to the tectonic continental margins any more.

⁸ Victoria, New South Wales and Queensland, as well as Tasmania and New Zealand.

⁹ Lately, similar block clays have been found in the state of Congo and in Togo.

¹⁰ In Brazil, the Province of Rio Grande do Sul, and north-western Argentina the layers are still poorly investigated. According to the Swedish expedition to the South Pole, there appear to be similar traces on the Falkland Islands. See E. Kayser, *Lehrb. der. geol. Formationslehre*, 4. Aufl. 1911, S. 266.

some time. Suess described them in the following way: the structural trend of folded mountains, rugged Rias coasts, which indicate the submergence of mountain chains, normal fault scarps and plains compose the variable borders of the Atlantic Ocean. A similar structure occurs in the Indian Ocean eastward to the Ganges river mouth, where the end of the Eurasian mountain chain reaches the sea. The west coast of Australia also has an Atlantic structure.

With the exception of a part of the middle American coast in Guatemala, where the sweeping cordillera of the Antilles has terminated, all well-known borders of the Pacific Ocean consists of folded mountains with a seaward vergence. The outer structural trends are either borders of the land or fringe them as peninsulas or chains of islands. Around the Pacific, no landward facing mountain flanks meet the sea and no plains extend to the coast.

This morphological difference between Atlantic and Pacific has been noted by many others. Becke (1903) recognized a difference between Atlantic and Pacific volcanic lavas. The Atlantic lavas were more alkaline, containing Na, whereas the Pacific lavas are poorer in alkaline components and richer in Ca and Mg. Therefore, Suess poses the question “ob das Zurecktreten von Ca und Mg in der atlantischen Erdhaelfte nicht mit dem Fortschreiten der Erstarrung in verbindung stehen Koennte” (whether the depletion of Ca and Mg in the Atlantic half of the Earth could be connected with solidification processes).

Furthermore, a systematic difference occurs in ocean depths. Kruemmel gives an average depth of the Pacific Ocean as 4,097 m and that of the Atlantic as only 3,858 m, whereas the Indian Ocean, with its half Atlantic and half Pacific character, has a 3,929-m average depth. Also the west Atlantic is shallower than the east Pacific. The relation is seen in the deep sea sediment. The red, deep sea clay and radiolarian mud, the two real abyssal sediments, are confined to the west Pacific and the eastern Indian Oceans whereas the Atlantic and west Indian Oceans are covered with “epilophischem” sediment, whose larger calcium content is a result of shallower water depths.

As obvious as these differences may be, little was known as to how they could be explained. “the fundamental reason for the difference between the Atlantic and Pacific hemispheres is not known” (Suess). Our hypothesis makes the reasons for this basic difference self-explanatory. Opening of the Atlantic requires extensive shoving of the continent against the Pacific Ocean. An extensive pressure and contraction occurs along the Pacific coast with each Atlantic tug and rift. The first rifting began off South Africa in Triassic time according to our postulate. This is consistent with the absence of folding after the Permian in Cape Town mountain. In Saharan Africa folding stopped after the upper Silurian along the Armorican Line. One can assume that every broadening rift that brought contraction and compression to the Gondwanan Pacific margins began in earliest geologic time and ended some time ago when Atlantic-form-

ing forces stopped. It is not unimportant that the picture we have drawn of a great age for the Pacific is contradicted by other observations. We certainly have no possibility of establishing this age without question. The sharks teeth of Tertiary age, which are found enclosed in red clays of large Manganese nodules, and also the many meteoritic spheres, mean only that the nodules are formed slowly, as according to many investigators. Because they are also found in the deepest parts of the Atlantic, below 4,000 m, their origin is obviously more a function of depth rather than time. The views of Koken, Frech (*Lethaea palaeoyolica*) and others, that the Pacific has existed for a geologically long time, is generally accepted by geologists and oceanographers.

Perhaps we have now won the opportunity to explain the differences in ocean depths. Because we must assume regional isostasy for the seafloor, the difference, according to our postulate, indicates that the older seafloor is denser than the younger. The idea is not out of hand that fresh vesicular expanses of sima, as in the Atlantic or the western Indian Ocean, are not only less rigid, but also retain a higher temperature (perhaps around 100° in the middle of the upper 100 km) than the cool, older strong seafloor. And such a temperature difference is probably sufficient to explain the relatively small comparative differences in depths of the large ocean basins.

Polar wander

Despite the broad and justified view brought from a geological perspective against assumptions of polar wandering, it is exactly from this same perspective that so much material has been recently discussed regarding extensive polar movement. This information can be regarded as substantiated. During Tertiary time, the North Pole wandered from the side of the Bering Strait towards the Atlantic and in the same way the South Pole wandered from South Africa towards the Pacific.

In the two oldest divisions of Tertiary time, namely the Palaeocene and Eocene, the western European climate was definitely tropical. Also, in the Oligocene, palms and other evergreens were distributed along the current coasts of the Baltic Sea. Upper Oligocene rock of the Wetterau contains much wood and the remains of fossil palm leaves. But in the beginning of the Miocene, there were many subtropical plants in Germany such as rare palms, Magnolia, laurel, myrtle, etc. These later disappeared as it became progressively colder so that in the last part of the Tertiary, the temperatures in middle Europe were not much different from current ones. Then followed glaciation. These changes clearly showed the approach of the Pole. The same polar wander is observed outside Europe. At the beginning of the Tertiary, when the Pole was in its old position, classical investigations like those of Heers, show beach, poplar, elms, oak and even “taxodien”, banana, and Magnolia on Greenland, Grinnell land, Barren Island, Spitzbergen, – locations that are currently 10–22° north of the tree line.

That we are in fact dealing with a change in Pole position and not a climate change over the whole Earth is shown by the investigations of Nathorst regarding the Tertiary flora of east Asia. He concludes that the climate of this area underwent a warming during European glaciation. He positioned the North Pole at 70°N and 120°E. The strongly polar Tertiary flora of the new Siberian islands was at 80°N during that time. The flora of Kamchatka, the Amur lands, and Sakalin had a somewhat warmer character and latitude of 67–68°, whereas flora with an even warmer character such as those of Spitzbergen, Grinnell land, Greenland, etc., had evergreen trees and were outside the polar circle at that time, with latitudes of 64, 62 and 53–51°N, respectively. Other authors, like Semper, came to similar conclusions and the reality of these large wandering paths can no longer be seriously doubted.

It seems impossible that during its Tertiary wandering, the North Pole came directly to its present position and has remained here unchanged since glacial times because its location would have been 10° from the border of every large continental ice cap. In those times the glaciers had a distribution similar to the current Antarctic ice cap and covered north America and Europe. Naturally it can be assumed that the Pole was first at least 10° farther toward Greenland and wandered back to its present position since glacial time.

It is of great interest to reconstruct the coeval location of the South Pole. If the North Pole was translated 30° toward the Bering Strait, so the South Pole must have lain 25° south of the Cape of Good Hope or on the South Polar continent that apparently reached this latitude in those times. In the better known parts of the southern hemisphere very few, or perhaps no signs of glaciation would be expected. Contrary to this is the previously discussed Permian glaciation during which drift was greater (perhaps 50°). At that time, the North Pole was far from the Bering Strait in the Pacific, but here, after considering the evidence, we are persuaded to remain more cautious because our picture of the shapes of the ancient continents becomes increasingly unclear. Therefore, it seems to me that investigation of conditions in even older geologic times, such as the traces of pre-Cambrian glaciation of China (in the Zangtse area), in south Australia near Adelaide (Willis), and apparently also in Norway (Hans Reusch) is not worthwhile.

Only a unique situation is considered. Green and Emerson have concerned themselves with the great Mediterranean zone of deformation that circles the Earth, and concluded that it is an old equator. In fact this could be the equator for all assumed Mesozoic pole positions during which time the North Pole was in the Bering Strait and the South Pole was south of Africa. Even if there are some doubts about the concepts of these authors, it is worth considering that this deformed zone might be the result of extraction of the moon from the Pacific, which affected the equator most.

Of greatest importance for an understanding of all observations is that major polar drift is apparently coeval

with the greatest continental drift. Particularly evident is the temporal correspondence between opening of the Atlantic and the most believably established Tertiary polar wander. Also, the relatively small return wander of the North Pole since glacial times can be correlated with the separation and drift of Greenland and Australia. Thus, it appears that large continental drift is the cause of polar wander. In any event, the pole of the Earth's rotation must follow the "traegheitspol". If the "traegheitspol" changes, so too must the pole of rotation. (If the Earth's mass shifts through continental drift it will perturb the pole of the Earth's rotation.)

These relations were investigated by Schiaparelli. He found that if the Earth is considered rigid, the large geologic changes (assumed up to now) will cause the "traegheitsachse" and the pole of the Earth's rotation to change even with a small change in drift. If a particular plasticity is assumed for the Earth, which allows a latent adjustment of the Earth's shape to the new rotation, fairly significant polar wandering is observed. In the case of even greater masses and more plasticity, there is no delay in adjustment of the Earth's shape to the conditions of rotation. Here we must make use of results from geophysics in a context of geologic time as seen in the preceding text. Multiple attempts have been made to calculate polar wandering, which might be substantiated by an observed shift of mass, as for instance by that measured during earthquakes. This led to the conclusion that polar wandering must be small. Hayford and Baldwin found that, during the 1906 San Francisco earthquake, a 40,000-km² section of the Earth's surface, 118 km thick with an average density of 4, moved 3 m northward and that this resulted in a shift of the "traegheitsachse" of only 0.0007", or 2 mm. In our concept we deal with movements of plates 100 times larger and thus could reach the required amount. In any event, one can see that in this way small progressive migrations of the "traegheitspole" could occur amounting to some one-hundredth of a second (of arc) per year (or 1° in 360,000 years). With this amount we come to an order of magnitude with which we can explain the geologic polar wander. The correspondence between these values and our inferred continental drift appears theoretically plausible even though a rigorous investigation has not yet been made.

Current horizontal movement

Greenland

Lets assume that the separation of Scandinavia from Greenland occurred 50,000–100,000 years ago (about at the time of major glaciation, because the recent investigations of HEIM and American geologists indicate only about 10,000 years appear to have passed since the last glaciation). If we assume the movement was at a uniform rate during the whole time and continues today, it would be 14–28m/year, a rate that should be confirmed without difficulty by astronomical observations. At only one

point, namely on Sabine Island on the east coast, are measurements of latitude from various times available. It is shown that between 1823 (Sabine) and 1870 (Börger and Copeland) an increase in distance of around 260 m occurred, and between 1870 and 1907 (Koch) a further increase of 690 m occurred, which together make an increase in distance of around ca. 950 m in 84 years or about 11 m/year.

Unfortunately, these measurements, using the moon, are not very accurate and, in addition, there is a certain uncertainty about the position of Sabine's observatorium. Therefore, one can hope that a repeat and precise determination of longitude and a revision of Sabine's observatorium will soon remove the last doubts about the reality of this movement.

North America

For North America, we expect a much smaller rate because the separation from Europe occurred in the Tertiary. On the other hand, we have here the trans-Atlantic cable making possible a much more exact determination. According to Schott, the three great measurements of length from 1866, 1870 and 1892, show the following values of distance (time) differences between Cambridge and Greenwich: 1866: 4 h, 44 m, 30.89 s; 1870: 4 h, 44 m 31.065 s; 1892: 4 h, 44 m 31.12 s.

These observations appear to indicate an increase in distance of about 1/100 second in time or 4 m/year. Because the current distance is about 3,500 km, this movement would account for the separation distance after 1 Ma of drift.

Naturally these values are hardly considered adequate to prove continental drift because the observed difference of 0.23 s is in the worst case uncertain due to the

precision of older observations. Because 20 years have passed since the last determination of length, it might be possible, by a repeat measurement today, to produce one that is definitive.

A similar investigation of the expected distance change to Australia has not been possible. If the numbers are, as it appears to me, not better than the accuracy of current measurements, then it is clear that more accurate determinations will be needed before the proof of continental drift, in the sense of our hypothesis, can be considered accomplished.

References

- Ampferer, Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. Jahrb D Kais, Kgl Geol. Reichsanst, 56, Wien 196, S 539–622
- Böse E Die Erdbeben, Sammlung: Die Natur. Ohne Jahreszahl, S 16, Anmerkung
- Kohlschütter E, Über den Bau der Erdkruste in Deutsch-Ostafrika. Vorläufige Mitteilung. Mitt K Ges Wiss. zu Göttingen 1911
- Koken (1907) Indisches Perm und die permische Eiszeit. Festband d neuen Jahrb Min Geol Paläont
- Krömmel (1907) Handbuch der Ozeanographie I, Stuttgart, 87
- Loukaschewitsch (1911) Sur le mécanisme de l'écorce terrestre et l'origine des continents. St. Petersburg, S 7
- Penck (1906) Süd-Afrika und die Sambesifälle. Geogr Z 12.22: 601–611
- Reyer (1907) Geologische Prinzipienfragen. Leipzig
- Rudzki (1911) Physik der Erde. Leipzig, S 122
- Scharff (1909) Über die Beweisgründe für eine frühere Landbrücke zwischen Nordeuropa und Nordamerika. Prod R Iris Ac, 28, Bd 1, 1–28
- Suess (1885) Das Antlitz der Erde, Bd I, 778
- Suess, Antlitz der Erde II, 164; 256; III, 60 u 77
- Suess (1881) E. Beiträge zur geologischen Kenntnis des östlichen Afrika. Die Brüche des östlichen Afrika. Wien
- Taylor FB (1910) Bearing of the tertiary mountain belt on the origin of the earths plan. Bull Geol Soc Am 21:179–226
- Willis B (1910) Principles of paleogeography. Science, N. S. 31(790):241–260

Geologische Vereinigung.

Die Entstehung der Kontinente¹⁾.

Von Dr. Alfred Wegener (Marburg i. H.).

Mit 3 Textfiguren.

(Vortrag gehalten auf der Hauptversammlung zu Frankfurt a. M. am 6. I. 1912.)

I. Vorbemerkung.

In folgenden soll ein erster Versuch gemacht werden, die Grossformen der Erdrinde, d. h. die Kontinentaltafeln und die ozeanischen Becken, durch ein einziges umfassendes Prinzip genetisch zu deuten, nämlich das der horizontalen Beweglichkeit der Kontinentalschollen. Überall, wo wir bisher alte Landverbindungen in die Tiefen des Weltmeeres versinken liessen, wollen wir jetzt ein Abspalten und Abtreiben der Kontinentalschollen annehmen. Das Bild, welches wir so von der Natur unserer Erdrinde erhalten, ist ein neues und in mancher Beziehung paradoxes, entbehrt aber nicht der physikalischen Begründung. Und andererseits enthält sich uns schon bei der hier versuchten vorläufigen Prüfung eine so grosse Zahl überraschender Vereinfachungen und Wechselbeziehungen, dass es mir nicht nur als berechtigt, sondern geradezu als notwendig erscheint, die neue, leistungsfähigere Arbeitshypothese an Stelle der alten Hypothese der verankerten Kontinente zu setzen, deren Unzulänglichkeit ja bereits durch die Gegentheorie von der Permanenz der Ozeane evident erwiesen ist. Trotz der breiten Grundlage möchte ich das neue Prinzip als Arbeitshypothese behandelt sehen, bis es gelungen sein wird, das Andauern dieser Horizontalverschiebungen exakt durch astronomische Ortsbestimmung nachzuweisen. Auch wolle man bei der Beurteilung von Einzelheiten beachten, dass bei einem ersten Entwurf wie diesem, der einen so umfassenden Stoff behandelt, sich einzelne Missgriffe schwer vermeiden lassen.

Zunächst soll auf Grund allgemein geologischer und geophysikalischer Ergebnisse die Frage erörtert werden, ob und wie überhaupt grössere Horizontalverschiebungen der Kontinentalschollen in der scheinbar starren Erdrinde vor-

¹⁾ Das folgende ist nur ein Auszug aus einer grösseren Arbeit gleichen Titels, die in PETERMANN'S Mitteilungen erscheint. Der wesentliche Inhalt dieser Untersuchungen wurde am 6. Januar 1912 auf der Jahresversammlung der Geologischen Vereinigung in Frankfurt a. M. vorgetragen unter dem Titel: „Die Herausbildung der Grossformen der Erdrinde (Kontinente und Ozeane), auf geophysikalischer Grundlage“, und weiter am 10. Januar in der Ges. z. Beförd. d. gesamten Naturwiss. zu Marburg unter dem Titel: „Horizontalverschiebungen der Kontinente“

sich gehen können²⁾. Sodann wollen wir einen ersten Versuch wagen, die bisherigen Spaltungen und Verschiebungen der Kontinentalschollen in der Erdgeschichte zu verfolgen und ihren Zusammenhang mit der Entstehung der Hauptgebirgsketten anzudecken, und schliesslich werden wir die damit Hand in Hand gehenden Polymerlagerungen und die noch heute fortdauernden, messbaren Verschiebungen kurz besprechen.

Es sei bemerkt, dass die Idee des Abreisens der Festländer voneinander schon öfter aufgetreten ist. W. H. PIRSKY macht davon Gebrauch im Zusammenhang mit der offenbar unrichtigen Hypothese der Abtrennung des Mondes von der Erde, bei welcher Gelegenheit Amerika von Europa-Afrika abgerissen sein soll. Wichtiger ist eine Arbeit von TAYLOR³⁾, welcher Abspaltungen im Tertiär annimmt — namentlich Grönlands von Nordamerika — und die Aufwerfung der tertiären Kettengebirge damit in Zusammenhang bringt. Beim Atlantik nimmt er an, dass nur ein beträchtlicher Teil desselben durch Fortziehen der amerikanischen Schollen entstanden sei, und dass die mittelatlantische Bodenschwelle der stehengebliebene Rest der Verbindung sei, während wir im folgenden die Küsten unmittelbar als ehemalige Spaltenränder auffassen werden. Es finden sich also bei TAYLOR bereits manche Anklänge an die im folgenden ausgeführten Vorstellungen, doch hat er den immensen Umfang von Konsequenzen, welche die Annahme solcher Horizontalverschiebungen mit sich führt, wohl kaum erkannt.

II. Geophysikalische Argumente.

Schon 1878 beschrieb HEMM die Kontinente als „mächtige, breite Sockel“. In der Tat zeigt die bekannte „hypsographische Kurve der Erdoberfläche“⁴⁾ mit grosser Deutlichkeit, dass es zwei bevorzugte Niveaus gibt, nämlich die Oberfläche der Kontinente (700 m über) und den Boden der Tiefsee (4300 m unter dem Meeresspiegel). Die niedrigsten Teile der Kontinentaltafeln liegen noch bis zu 500 m unter dem Meeresniveau (Schelfe). Hinsichtlich der Entstehung dieser tafelförmigen Erhöhungen der Erdrinde stehen die europäischen Geologen wohl zum grossen Teil noch immer auf dem Standpunkt der Kontraktionstheorie, die durch den trockennden Apfel so drastisch veranschaulicht wird, und die SUSS in den Satz zusammenfasst: „Der Zusammenbruch des Erdballs ist es, dem wir beizuhelfen“⁵⁾. Seitdem HEMM für diese bisher wohl nützliche Anschauung ins Feld trat, haben sich aber gewichtige Bedenken gegen sie erhoben, und E. BOSS z. B. charakterisiert den heutigen Zustand dahin, dass „die Kontraktionstheorie längst nicht mehr voll anerkannt wird und einstweilen keinerlei Theorie gefunden ist, die sie vollständig ersetzen und alle Umstände erklären kann“⁶⁾. Besonders seitens der Geophysik muss die Kontraktionstheorie abgelehnt werden. Man hat nicht einmal das scheinbar über allen Zweifeln stehende Ausgangsprinzip: „Die Erde m uss sich abkühlen“ unangestastet gelassen, da von der Radiumforschung die Frage aufgeworfen ist, ob die Temperatur des Erdinnern nicht im Steigen begriffen ist⁷⁾. Seitdem man mit grosser Wahrscheinlichkeit sagen kann, dass der Erdkern aus bereits äusserst komprimiertem Nickelstahl besteht, erscheint überhaupt eine blosse Abkühlung nicht mehr aus-

²⁾ Dieser Teil ist besonders stark gekürzt. Es sei ein für allemal auf die ausführlichere Darstellung in PETERMANN'S Mitt. hingewiesen.

³⁾ F. B. TAYLOR, Bearing of the tertiary mountain belt on the origin of the earth's plan. Bull. of the Geol. Soc. of America. 21. June 2. 1910. p. 179 bis 226.

⁴⁾ Siehe KREMMER, Handbuch der Ozeanographie I. Stuttgart 1907. S. 87.

⁵⁾ SUSS, Das Antlitz der Erde. Bd. I. 1885. S. 776.

⁶⁾ E. BOSS, Die Erdbeben. Sammlung: Die Natur. Ohne Jahreszahl. S. 16 Anmerkung.

⁷⁾ RUDZKI, Physik der Erde. Leipzig 1911. S. 122.

reichend, um die grossen Falten der Erdrinde zu erklären, namentlich seitdem ihre Grösse in dem Deckfaltenbau richtig erkannt ist. Der starke Gewölbedruck, der instände sein sollte, die Schrumpfung eines ganzen grössten Kreises auf eine Stelle desselben zu übertragen, hat sich als physikalisch unmöglich herausgestellt; denn die Molekularkräfte (Druckfestigkeit) reichen nicht einmal aus, um einer 100 km breiten Scholle, die über eine andere fortgeschoben werden soll, den Zusammenhang zu bewahren. „Die Gesteinsscholle würde sich nicht von Fleck rühren, sondern in Stücke zerbrechen“ (RUDZKI), oder, wie LUKASCHEWITSCH sich ausdrückt: „Les forces molaires (portent sur les forces moléculaires)“⁸⁾. Die Erdoberfläche könnte auf diese Weise nur eine sehr schwache und vor allem ganz gleichmässige Kanzelung erhalten, wie auch AMPFERER⁹⁾, REYER¹⁰⁾ u. a. mit Recht gefordert haben. Weiter ist wohl schwer einzusehen, wie derselbe Vorgang der Kontraktion der Erde das eine Mal zur Runzelung, das andere Mal aber zum Absinken ganzer Schollen und zur Horstbildung führen soll. Vor allem werden diese Vorstellungen aber widerlegt durch die Schweremessungen, nach denen der Boden der Ozeane aus spezifisch schwereren und also chemisch anderem Material besteht wie die Kontinentalschollen. Indem man dieses unabweisbare Ergebnis zusammenhielt mit der immer klarer erkannten Tatsache, dass alle oder fast alle Sedimente auf den Kontinentaltafeln seitlich Transgressionen entstammen, kann man zu der bedenklichen Lehre von der Permanenz der Ozeane, die sich hauptsächlich an die Namen DANA und WALLACE knüpft, und welche BAILEY WILLIS bereits „outside the category of debatable questions“ stellen möchte¹¹⁾. Die europäischen Geologen weigern sich aber mit Recht, diese Lehre anzunehmen, da wir durchaus nicht umhin können, für die Vorzeit breite Landbrücken quer über die Ozeane anzunehmen, und ziehen es vor, den geophysikalischen Argumenten eine unberechtigte Skepsis entgegenzubringen zugunsten des „Zusammenbruchs des Erdballs“. Beide Parteien ziehen also aus guten Argumenten zu weit gehende Schlüsse. Wir werden zu zeigen versuchen, dass die berechtigten Forderungen beider durch die Annahme von Spaltungen und Horizontalverschiebungen der Kontinentalschollen erfüllt werden.

Die Schweremessungen auf den Ozeanen, namentlich diejenigen von HECKER, haben gezeigt, dass der Boden derselben nicht nur aus überhaupt schwererem Material besteht wie die Kontinentaltafel, sondern dass dasselbe gerade so schwer ist, dass Druckgleichgewicht herrscht, d. h. dass das Massendefizit des leichten Meerwassers gerade durch den Massenüberschuss der Ozeanböden kompensiert wird. Über diese Hypothese der Isostasie hat sich bekanntlich eine grosse Zahl von Untersuchungen entsponnen, sowohl über ihre Berechtigung wie über ihren Gültigkeitsbereich. Ich gehe darauf nicht ein, sondern präzisiere nur die für das folgende zugrunde gelegte Auffassung dahin, dass für grosse Räume, wie z. B. Kontinente und Ozeane, oder für grosse Gebirgsmassive, stets Isostasie anzunehmen ist, während einzelne Berge, insbesondere Tafelberge, oft durch die Elastizität der ganzen Scholle getragen werden und also nicht isostatisch kompensiert sind. Letzteres trifft sich noch bei einzelnen anderen Gebilden zu, deren Tektonik noch unbekannt ist.

Man kann sich die Grenze zwischen dem leichten Material der Kontinentalschollen und dem schweren der Ozeanböden in verschiedener Weise vorstellen. Bisher ist am meisten die schon von ATNY im Jahre 1855 entwickelte, dann von

⁸⁾ LUKASCHEWITSCH, Sur le mécanisme de l'écorce terrestre et l'origine des continents. St. Pétersbourg 1911. S. 7.

⁹⁾ AMPFERER, Über das Bewegungsbild von Fallengebirgen. Jahrb. d. Kais. Kgl. Geol. Reichsanstalt. 56. Wien 1906. S. 589—622.

¹⁰⁾ REYER, Geologische Prinzipienfragen. Leipzig 1907. S. 140 ff.

¹¹⁾ BAILEY WILLIS, Principles of paleogeography. Science, N. S. Vol. 31. No. 790. S. 241—260. 1910.

STOKES und anderen aufgenommenen und noch jüngst von LUKASCHEWITSCH ausgebauten Vorstellung benutzt worden, dass auf einem schweren Magma eine leichte Lithosphäre schwimmt, die unter den Kontinenten dick, unter den Ozeanen dünn ist. Wir werden im folgenden von einer anderen Annahme ausgehen, welche durchaus gleichberechtigt ist und, wie gezeigt werden wird, grosse andere Vorzüge besitzt. Sie ist in der nebenstehenden Figur veranschaulicht: Die Kontinente bilden lediglich Bruchstücke einer Lithosphäre, welche in einer schweren Materie eingebettet sind.

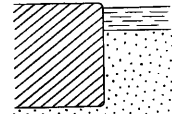


Fig. 1. Schematischer Querschnitt durch einen Kontinentalrand.

Die Mächtigkeit der Kontinentalschollen kann zu rund 100 km angenommen werden. HAYMOND fand aus den Lotabweichungen in den Vereinigten Staaten, freilich unter nicht ganz einwandfreien Annahmen, den Wert von 114 km. HELLMER gelangte auf einen ganz anderen Wege, nämlich auf Grund der Pendelbeobachtungen am Rande der Kontinentaltafeln, fast zu derselben Zahl, nämlich 120 km, und wieder zu demselben Resultat ist KOHLSCHEITER jüngst auf gleichem Wege gelangt. Wenn wir also 100 km als ungefähren Mittelwert betrachten dürfen, so sind wohl für manche Stellen der Erde Werte bis zu 50 km herab, für andere aber solche von 200 km oder mehr zu erwarten. Denn den wechselnden Seehöhen an der Oberfläche wird eben aus isostatischen Gründen auch eine stark wechselnde Mächtigkeit der leichten Scholle entsprechen. Zu ähnlichen Ergebnissen, wenn auch mit noch grösserer Unsicherheit in Bezug auf das Zahlenergebnis, ist man in der Erdbebenforschung gekommen, und zwar nicht nur durch die Diskussion der in den Hauptwellen nachweisbaren Eigenschwin-

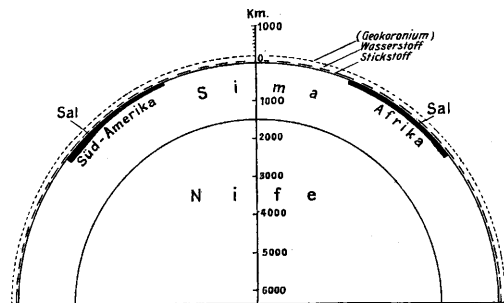


Fig. 2. Schnitt im grössten Kreise durch Südamerika und Afrika, in getrennten Grössenverhältnissen.

gen des Erdbodens (WICHERT), sondern auch mit Hilfe der Reflexion der Erdbebenstrahlen, und endlich mit Hilfe der Tiefe des Bebenherdes.

Zur Veranschaulichung der Grössenverhältnisse ist in Fig. 2 ein Querschnitt (auf grösstem Kreise) der Erde zwischen Südamerika und Afrika in ge-

treuen Grössenverhältnissen gegeben. Die Unebenheiten der Erdoberfläche, auch die grosse Vertiefung des Atlantischen Ozeans, sind so gering, dass sie sich innerhalb der Dicke der Erdkruste darstellen lässt. Die Krustalite abspalten. Zum Vergleich enthält die Figur auch noch den Wärmestrom durch Eisenkern und die Hauptschichten der Atmosphäre: Stickstoffosphäre, Wasserstoffosphäre und die nach aussen unbegrenzte Sphäre des hypothetischen Geokoronsiums; die Zone der Wolken (Troposphäre) ist nicht mächtig genug, um zur Darstellung gelangen zu können.

Es ist zunächst notwendig, sich darüber klar zu werden, dass die Sedimente nur einen unwesentlichen Anteil an dem Aufbau der Kontinentalschollen haben. Zwar wird oft die Gesamtmächtigkeit der Sedimente zu vielen Kilometern angegeben, allein dies sind Maximalwerte, denen andere Gebiete gegenüberstehen, wo das Urgestein jeder Sedimentdecke entblösst ist. Aber erst, wenn wir die Isostasie berücksichtigen, gewinnen wir ein deutliches Bild davon, wie wenig die Sedimente für diese grossartigen Formen in Betracht kommen. Würden wir nämlich die Sedimentdecke der ganzen Erde beseitigen, so würden die Schollen überall fast wieder bis zur selben Oberfläche emporsteigen, so dass das Relief der Erdoberfläche nur wenig verändert würde. Hiervon ist ersichtlich, dass die Kontinentalschollen Formen einer höheren Ordnung darstellen, gegenüber welcher Erosion und Sedimentation nur die Rolle sekundärer Oberflächenerscheinungen spielen. Ihr Material bildet das Urgestein, dessen „Ubiquität“ trotz mancher Bedenken nicht abzuleugnen ist. Halten wir uns an den Hauptvorreiter, so können wir sagen, die Kontinentalschollen bestehen aus Gneis.

Für dieses Material hat SUSS im 3. Bande seines Werkes „Das Antlitz der Erde“ (S. 626) den Namen Sal eingeführt, während er die vulkanischen Eruptivgesteine als Sima bezeichnet. Die letzteren unterscheiden sich nicht nur chemisch, sondern auch physikalisch von den ersteren. Sie sind, wie wohl stark variiert, im Durchschnitt schwerer wie die salischen Gesteine und haben einen ca. 200–300° höheren Schmelzpunkt. Die Annahme liegt von vornherein nahe, dass das schwerere Material der Ozeanbiden mit diesem Sima identisch ist und diese Vermutung stimmt auch numerisch mit den spezifischen Gewichten. Ist 2,8 das der Kontinentalschollen, so berechnet man leicht aus der Tiefe des Eintauchens, dass die Ozeanbiden das Gewicht 2,9 haben müssen, und dies ist in der Tat ein guter Durchschnittswert der simischen Gesteine.

Bei einer weiteren Diskussion der physikalischen Eigenschaften dieses Gesteinsmaterials sowie der Temperaturen, die wir in Erdinnern annehmen müssen, kommt man zu dem Schluss, dass beide Materialien, Sal wie Sima, plastisch sein müssen. Es handelt sich dabei um die paradoxen Eigenschaften sehr zäher Flüssigkeiten, für die z. B. schwarzes Pech ein extremes Beispiel liefert: Lässt man ein Stück längere Zeit liegen, so fließt es unter seinem eigenen Gewicht auseinander; kleine Bleikugeln sinken in ihm im Laufe der Zeit unter; aber unter einem Hammerschlage zer springt es wie Glas. Die Zeitdauer der wirkenden Kräfte ist also bei solchen Stoffen ein ausserordentlich wichtiger Faktor. — Zieht man alles in Betracht, so kommt man zu dem Schluss, dass von physikalischer Seite her kein Grund vorliegt, die Möglichkeit ausserordentlich langsamer, aber gleichwohl grosser Horizontalverschiebungen der Kontinente zu bestreiten, sofern Kräfte vorhanden sind, welche während geologischer Zeiträume unverändert im selben Sinne wirken.

Da jede Gebirgsbildung einen Zusammenschub der Kontinentalschollen darstellt, durch welche ihre Oberfläche verkleinert und ihre Dicke vergrössert wird, und da diese Gebirgsbildung in allen geologischen Perioden tätig gewesen ist, so erklärt sich auf diese Weise auch das allmähliche Emporsteigen der Kontinente aus den Ozeanen. Dieser Prozess ist notwendig ein einseitiger; denn ein Zug wird niemals bewirken können, dass ein erfolgter Zusammenschub wieder rückgängig gemacht wird, sondern nur zur Zerreibung der Scholle führen. Wir haben hier also einen fortschreitenden Prozess, durch den die einst wahrscheinlich geschlo-

sene salische Erde während an Oberfläche und Zusammenhang verliert und dafür an Mächtigkeit gewinnt. Die nebenstehende Figur 3 erläutert die aus dieser Auffassung zu folgenden hypsographischen Kurven der Erdoberfläche für die Vorzeit und die Zukunft: Während im Umfang eine etwa 8 km tiefe „Pantlassa“ die ganze Erdoberfläche bedeckt, beginnt das Meer mit dem Schwellen der Kontinentalschollen sich in Flachsee und Tiefsee zu spalten, bis die Kontinente auftauchen, was heute noch nicht ganz beendet ist, sondern erst nach einer Hebung von einem weiteren halben Kilometer abgeschlossen sein wird. So erklärt sich auch, dass die Transgressionen der Vorzeit grössere Ausdehnung gehabt haben als die heutigen.

Bei der Abspaltung von Schollen muss das darunter liegende, hoch temperierte Sima entblösst werden, was zu submarinen Lavaergüssen führen wird. Namentlich scheint dies z. B. der Fall zu sein bei der mittelatlantischen Bodenschwelle. Da sich aber submarine Eruptionen fast geräuschlos zu vollziehen pflegen, und das schwere Sima nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren nur soweit aufsteigen wird, bis Isostasie herrscht, wenn nicht besondere Druckkräfte es höher treiben, so wird die Öffnung einer Spalte keineswegs zu katastrophalen Erscheinungen zu führen brauchen, ja es werden diese „Rückseiten“ bewegter Schollen prinzipiell arm an Vulkanen sein müssen im Vergleich zu den Vorderseiten, wo der Druck vorherrscht. Damit hängt vielleicht auch die namentlich von GRATE und BRANCA betonte Unabhängigkeit der Vulkane von Spalten zusammen.

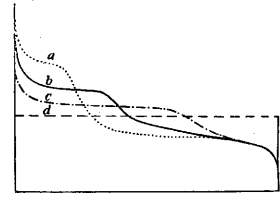


Fig. 3. Hypsographische Kurven der Erdoberfläche, a für die Zukunft, b die Gegenwart, c die Vorzeit (zugleich mittleres Krustenniveau).

Nach dem Gesagten werden wir erwarten müssen, dass die durch grosse Horizontalverschiebungen ausgezeichneten Perioden der Erdgeschichte auch gesteigerten Vulkanismus, die Perioden der Ruhe nur geringen Vulkanismus zeigen. Es sei vorgründend erwähnt, dass in der Tat die Zeit der grössten von uns angenommenen Verschiebungen, nämlich die Tertiärperiode, durch starken Vulkanismus ausgezeichnet ist, während die vorangehende Jura- und Kreidzeit in beiden Beziehungen eine Periode der Ruhe darstellt.

Die Ursache der Verschiebungen anzugeben sind wir gegenwärtig wohl noch nicht in der Lage. Es liegt sehr nahe, die Mondluft im Erdkörper zur Erklärung heranzuziehen, wofür besonders die Vorliebe für meridionale Spaltenbildung spricht. Letztere äussert sich auch in einer oft hervorgehobenen Eigentümlichkeit der Kontinentalformen, nämlich ihr spitzes Auslaufen nach den Polen zu. Am deutlichsten ist dies heute in dem Gegenden des alten Südpols (siehe unten) zu erkennen, wo seit den grossen Aufspaltungen die Konturen nicht wieder durch Druck gestört wurden; aber auch an der Stelle, wo wir den Nordpol in früheren Zeiten anzunehmen haben, nämlich an der Beringstrasse, laufen die Festlandsschollen spitz aus, nur scheint hier infolge Zusammenschubs die Kontur nicht rein erhalten geblieben zu sein. — Vermutlich wird man einstweilen gut tun, die Verschiebungen der Kontinente als Folgen zufälliger Strömungen im Erdkörper zu betrachten; die Zeit scheint mir für eine Analyse der Ursachen noch nicht reif zu sein.

III. Geologische Argumente.

1. Grabenbrüche. Bevor wir es unternehmen, die von uns angenommenen Prozesse der Zerteilung und des Zusammenschubs der Kontinentalschollen in der Erdgeschichte zu verfolgen, sei nochmals darauf aufmerksam gemacht, dass ein solcher erster, tastender Versuch notwendig in manchen Punkten unvollständig, in anderen vielleicht unrichtig ausfallen wird. Gleichwohl muss der Versuch gewagt werden. Denn erst einmal die Hauptgesichtspunkte festgelegt, so wird es der Forschung nicht schwer fallen, die Fehler auszumerken.

Bei der Tektonik der Grabenbrüche hat man bisher die Schwermessungen noch wenig berücksichtigt und begnügt sich meist damit, festzustellen, dass die obersten Schichten der Erde hier längs einer Linie abgesunken sind. Da die Schwermessungen aber zeigen, dass in den meisten Fällen unter dem Graben Material von grösserer spez. Gewicht liegt als neben ihm, so müssen wir annehmen, dass wir es mit einer Spalte in der Kontinentalscholle zu tun haben, in welcher das schwere Sima soweit aufgestiegen ist, dass Isostasie herrscht. Wie leicht zu berechnen ist, wird dies bereits der Fall sein, wenn das Sima noch 3/4 km unter der Oberfläche des Kontinents liegt, und eine so tiefe Spalte wird sich natürlich durch seitliches Abrutschen der Spaltenränder (Staffelbrüche) ausfüllen, so dass das Auftreten von Oberflächenschichten am Boden des Grabens, wie es z. B. nach LEVRSKY die Bohrungen in der Oberrhheinischen Tiefebene zeigen, nicht zu verwundern ist. Wir können meines Erachtens alle Grabenbrüche in dieser Weise als beginnende Abspaltungen deuten, wobei dahingestellt bleiben mag, ob es sich um wirklich rezente Gebilde handelt, oder um frühere Versuche einer Abspaltung, die aber infolge Erlahmens der treibenden Kräfte wieder zur Ruhe gekommen sind. Ein sehr interessantes Beispiel hierfür bilden die ostafrikanischen Gräben und ihre Fortsetzung durch das rote Meer bis zum Jordantal, welche SUSS bereits aus rein geologischen Gründen als grosse Spalten aufgefasst hat¹⁾. KORSCHSTRÖM hat in diesem Gebiet eine Reihe von Schwermessungen ausgeführt²⁾, nach denen die Mehrzahl der Gräben nicht isostatisch kompensiert ist, sondern ausser dem sichtbaren Defekt noch eine darunter liegende Auflockerung enthält. Damit haben wir ganz das Bild von Spalten, die von oben her in die Kontinentalscholle eindringen, aber sie nicht vollständig durchsetzen, so dass das schwere Sima noch nicht in ihnen emporgedrungen ist. Die dem Kontinentalrande nächsten Gräben zeigten sich aber als isostatisch kompensiert, d. h. hier ist offenbar das schwere Sima bereits in der Spalte emporgestiegen, und dasselbe gilt auch für die ja erheblich breitere Spalte des roten Meeres, wie bereits von TRUZZI und HECKER gefunden wurde.

2. Atlantik und Anden. Die grossartige Parallelität der Küsten des Atlantik ist ein nicht zu unterschätzendes Argument für die Annahme, dass dieselben die Ränder einer ungeheuer erweiterten Spalte darstellen. Schon bei flüchtiger Betrachtung der Karte erkennt man, wie sich hüben und drüben Gebirge (Grönland-Skandinavien), Bruchzonen (Mittelamerika-Mittelmeer) und Tafelländer (Südamerika-Afrika) entsprechen, letztere mit noch fast kongruenten Konturen.

Und noch mehr: In den Teilen, die uns am besten bekannt sind, nämlich Europa und Nordamerika, herrscht auch im einzelnen fast völlige Übereinstimmung. SUSS hat diese Beziehungen an verschiedenen Stellen seines grossen Werkes besprochen³⁾. Die nördliche Zone besteht beiderseits aus Gneis; auf europäischem Boden ist es die Gneiszone der Lofoten und Hebriden, im Westen liegt das fast nur aus Gneis bestehende Massiv Grönlands, und auch noch die W-Küste der Davis-Strasse und Baffins-Bay besteht aus einem Gneisgebirge

das durch Cumberland und Labrador bis an die Belle-Ile-Strasse nach Süden hinabreicht.

Am schlagendsten sind aber die zuerst von MARCEL BERTRAND 1887 aufgedeckten Beziehungen, welche sich für die südlich daran grenzenden Faltenzüge eines karbonischen Gebirges, von SUSS das armerikanische Gebirge genannt, ergeben, und welche die Kohlenlager Nordamerikas als die unmittelbare Fortsetzung der europäischen erscheinen lassen. Dies heute zum Teil schon stark eingeebnete Gebirge zieht sich in Europa, aus dem Innern des Kontinents kommend, in bogenförmigen Verlauf zuerst gegen WNW, dann gegen W, um an der SW-Küste von Irland und der Bretagne jähl abzubrechen, eine wild zerzerrte Küste (sog. Rias-Küste) bildend. „Allen sonstigen Erfahrungen widersprechend wäre die Annahme, dass die Rias-Küste zwischen Dingle-Bay und La Rochelle das natürliche Ende dieses mächtigen Aufbaues sei. Seine Fortsetzung ist unter dem atlantischen Ozean und jenseits desselben zu suchen (SUSS).“

Die Fortsetzung auf amerikanischer Seite bilden die Ausläufer der Appalachen auf Nova Scotia und Neu-Fundland. Hier endigt gleichfalls ein karbonisches Faltengebirge, ebenso wie das europäische nach Norden gefaltet, jäh in Gestalt einer typischen Rias-Küste im Meer, nachdem es aus nordöstlicher zuvor östliche Richtung angenommen hat. Fauna und Flora beiderseits zeigen nicht nur für die karbonische Zeit, sondern auch für die älteren Schichten eine mit zunehmendem Beobachtungsmaterial immer klarer erkannte Identität. Auf die zahlreichen Arbeiten hierüber von DAWSON, BERTRAND, WALCOTT, AMI, SALTER u. a. können wir hier nicht eingehen.

Das Abbrechen dieser „transatlantischen Altiden“, wie SUSS sie auch nennt, an sich gerade gegenüberliegenden Stellen bilden den schlagendsten Beweis für die Zusammengehörigkeit der Küsten. Für die ältere Annahme, dass die verbindende Gebirgskette im Atlantik versunken sei, bildet, wie PRÄX hervorgehoben hat, schon der Umstand eine Schwierigkeit, dass das fehlende Stück des angenommenen Gebirges länger sein müsste als seine bekannte Erstreckung.

Weiter im Süden sind die Gebiete noch zu wenig geologisch erforscht, um genaue Vergleiche zuzulassen. Doch hat z. B. LE GENTIL die Fortsetzung des Hohen Atlas in den kanarischen und kapverdischen Inseln und in den Antillen sehen zu können geglaubt. Durch einen Vergleich der Floren kam ferner EGOLZA zu dem Resultat, dass Kontinentalverbindung gerade zwischen den der Küstenkontur nach zusammengehörigen Punkten, nämlich dem nördlichen Brasilien südöstlich der Mündung des Amazonas und der Bai von Bisfra (Kamerun) bestanden haben muss, und SUSS fand bei einem Vergleich der beiderseits am Südatlantik ausstehende Sedimente (soweit sie bekannt sind) eine „auffallende Übereinstimmung“ mit EGOLZA'S Ergebnis. Doch bleibt der detaillierte Vergleich hier noch der Zukunft vorbehalten.

Ausser diesem sonstigen anatomischen Befund interessieren uns hier noch zwei Fragen, welche dem Fernerstehenden vielleicht sogar als besonders wichtig erscheinen, aber gleichwohl hier nur sehr kurz behandelt werden sollen. Es ist einmal die Frage, ob wir überhaupt auf Grund der paläontologischen Befunde einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen Amerika einerseits und Europa-Afrika andererseits bis zu einem bestimmten Zeitpunkt annehmen haben, und zweitens, wenn dies der Fall ist, wann die Trennung vor sich ging. Beide Fragen sind bekanntlich längst bearbeitet, und jedes neu hinzukommende Material wird sogleich benutzt, um unsere Annahmen zu korrigieren. Man sieht nämlich leicht, dass diese Fragen ganz unabhängig davon sind, ob man Horizontalverschiebungen der Kontinentalschollen annimmt, oder an ein Versinken der Landbrücken glaubt. Aus diesem Grunde genügt es, hier ganz kurz die Resultate zu skizzieren, zu denen man bisher gelangt ist. Hervorgehoben sei dabei zunächst ein Punkt, der die Deutung der bisherigen paläogeographischen Resultate für unsere Zwecke schwierig macht: die Transgressionen. Auch durch seichte

¹⁾ E. SUSS, Beiträge zur geologischen Kenntnis des östlichen Afrika. Die Brüche des östlichen Afrika. Wien 1881.

²⁾ E. KORSCHSTRÖM, Über den Bau der Erdkruste in Deutsch-Ostafrika. Vorläufige Mitteilung. Mitt. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen 1911.

³⁾ Antlitz der Erde II. 164; III 60 u. 77.

Transgressionen können die Teile ein und derselben Kontinentalscholle faunistisch und floristisch getrennt werden, und die Entscheidung wird oft schwierig sein, ob Spaltung oder Trennung durch Transgressionsmeere vorliegt.

Was zunächst Südamerika und Afrika betrifft, so sind Geologen und Biogeographen ziemlich einig darin, dass im Mesozoikum hier in breiter Front eine Landverbindung, ein brasiliafrikanischer Kontinent, bestand¹⁾. v. IHERING nannte ihn „Archibelenis“. Durch die neueren Arbeiten dieses Autors und anderer wie OTTMANN, STROMER, KELLMAK und EISENMANN ist auch der Zeitpunkt, in welcher die Verbindung abbrach, mit immer wachsender Sicherheit in die Tertiärperiode und zwar etwa in das Ende des Eozäns oder Anfang des Oligozäns verlegt worden²⁾. Die genaue Bestimmung des Zeitpunktes wird natürlich Sache der weiteren paläontologischen Forschung sein. Nach unserer Hypothese hätte sich also in jener Zeit die grosse, nahezu meridionale Spalte gebildet, und die Öffnung des Atlantik begonnen.

Auch zwischen Europa und Nordamerika wird für die ältere Tertiärzeit noch eine breite Landverbindung angenommen, die den Austausch der Formen ermöglichte, und welche, schon im Oligozän behindert, im Miozän ganz aufhörte. Wir dürfen also wohl annehmen, dass die Öffnung der Spalte langsam von Süden nach Norden fortgeschritten ist. Indessen zeigt eine Reihe noch später gemeinsam in Europa und Nordamerika auftretender Formen, das wenigstens im hohen Norden, über Skandinavien und Grönland, noch bis in die Eiszeit hinein höchst wahrscheinlich Landverbindung zwischen Europa und Amerika bestanden hat³⁾. Nach unserer Vorstellung hätte also Nordamerika, Grönland und Europa zur Eiszeit noch eine zusammenhängende Scholle gebildet, und die Eiskalotte hätte also einen erheblich kleineren Umfang gehabt, als man bisher anzunehmen gezwungen war. Hierdurch wird das Verständnis des ganzen eiszeitlichen Phänomens offenbar nicht unwesentlich erleichtert.

Mit diesen Vorstellungen stimmt auch die Tatsache eines Steppenklimas in den Interglazialzeiten in Europa überein, die aus den zahlreichen Überresten von Steppentieren hervorgeht und bei der heutigen Nähe der Tiefsee im Westen durchaus nicht erklärbar ist⁴⁾. Wenn aber Grönland zu jener Zeit noch mit Europa und Amerika unmittelbar zusammenhing, so bildete der Nordatlantik damals erst einen schmalen Meeresarm, der das kontinentale Klima Europas noch nicht wesentlich beeinflussen konnte.

Eine interessante Beziehung besteht noch zwischen Nord- und Südamerika. Wie von OSBORN zuerst vermutet und dann von SCHARFF näher ausgeführt wurde, hat auch zwischen diesen beiden Schollen bis zum Beginn des Tertiärs ungehinderte Landverbindung bestanden, die dann abbrach und erst gegen Ende der Tertiärzeit (nach KAYSER im Pliozän) in dem beschränkten Meer, wie es das heutige Mittelamerika gestattete, wiederhergestellt wurde. Bisher hat man diese vortertiäre Landbrücke meist im Westen, im Gebiet der Galapagos, gesucht. Nach unseren Annahmen wäre sie wohl einfach durch das nordwestliche Afrika gebildet, nach dessen Abreissen die Verbindung zunächst erlosch, um erst später im Verlauf der weiteren Öffnung des Atlantik und der damit Hand in Hand gehenden Auffaltung der Anden in beschränkter Masse wiederhergestellt zu werden.

¹⁾ Vergl. u. a. ARLDT, Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt. Leipzig 1907.

²⁾ HAUG und KAYSER geben für die Trennung an: Jedenfalls vor Beginn des Miozäns; v. IHERING, OTTMANN und STROMER: Eozän; letzterer und EISENMANN wollen für das Untereozän noch Verbindung annehmen.

³⁾ SCHARFF, Über die Beweisgründe für eine frühere Landbrücke zwischen Nordeuropa und Nordamerika. Proc. of the R. Irish Ac. 1909. 28. Bd. I. 1—28.

⁴⁾ Der zu ihrer Erklärung bisweilen angenommene Ostwind, der dem Hochdruckgebiet über der Eiskappe entsprechen soll, müsste doch in den Interglazialzeiten, in denen die Eiskappe fehlt, auch fortfallen.

indien, wie mit Südafrika und Südamerika besessen hat. Man hat diesen Kontinent, dem man bei ungeänderter Lage seiner heutigen Reste einen sehr grossen Umfang zuschreiben musste, „Gondwana-Land“ genannt. Wir müssen also annehmen, dass auch die australische Scholle sich erst im Laufe der geologischen Zeiten losrennte und früher dem Urkontinent direkt angegliedert war. Ihre Trennung von Afrika und Vorderindien scheint in dieselbe Zeit (Trias) zu fallen wie die Trennung dieser voneinander; denn im Perm hat die Verbindung, wie gleich noch eingehender dargelegt werden wird, noch bestanden, während in der Juraperiode keine Verbindung mehr bestand. Andererseits scheint aber, wie HEDLEY, OSBORN u. a. betont haben, noch immer eine Verbindung mit Südamerika erhalten geblieben zu sein, die erst im Quartär abbrach. Diese Verbindung ging wohl über den leider noch fast ganz unbekanntem Südpolarkontinent. Wegen unserer unzulänglichen Kenntnis dieser Gebiete ist die Angliederung der australischen Scholle noch ganz besonders unsicher. Einstweilen scheint es, als ob die Westküste Australiens ursprünglich mit der Ostküste Vorderindiens unmittelbar zusammengehungen hat, sich aber, wie erwähnt, schon in der Triasperiode abspaltete, während die ganze Südküste noch fest mit der Antarktis zusammenhing. In der Folgezeit scheint sich die antarktische Scholle, ähnlich wie die südamerikanische, von Südafrika nach der Seite des Pazifik hinabgeschoben zu haben; das grosse Kettengebirge, von dem wir nur die beiden Enden in Graham-Land und Viktoria-Land kennen, wird von vielen als die direkte Fortsetzung der südamerikanischen Anden betrachtet. Erst im Quartär liess sich dann die australische Scholle ab, an ihrer Ostküste noch die Fortsetzung der antarktischen Anden tragend, von denen Neuseeland ein abgetrenntes Bruchstück darstellt. — Diese Vorstellungen können aber, wie gesagt, nur als Versuch einer ersten Orientierung betrachtet werden.

Von Wichtigkeit erscheint mir jedoch auch das Kartenbild der Umgebung Australiens, welches durchs der Vorstellung Vorschub leistet, dass sich dieser Kontinent nützlich seinen nördlichen Ausläufer Neu-Guinea nach Norden schiebt und hier mit den vorgestreckten südlichen Ausläufern Hinterindiens kollidiert. WALLACE hat zuerst auf den grossen Unterschied der mit Australien verwandten Fauna Neu-Guineas einerseits und der zu Hinterindien gehörigen Fauna der Sundainseln andererseits aufmerksam gemacht, welcher die heutige nahe Berührung als eine zufällige erscheinen lässt⁵⁾. Ob das hohe Gebirge Neu-Guineas mit dieser Bewegung nach Norden in Zusammenhang zu bringen ist, lässt sich wohl noch nicht entscheiden.

4. Permische Eiszeit. Eine sehr schlagende Bestätigung scheinen diese Vorstellungen in der Erscheinung einer permischen Eiszeit (nach einigen Forschern im Karbon) zu finden, deren Spuren man an den verschiedensten Stellen der Südhälfte beobachtet hat, während sie auf der Nordhälfte bisher fehlen. Diese permische Eiszeit war ja bisher das Sorgenkind der Paläogeographie. Denn diese auf typisch geschrammter Unterlage liegenden unzweifelhaften Grundmoränen eines ausgedehnten Inlandeises finden sich in Australien⁶⁾, Südafrika⁷⁾, Südamerika⁸⁾ und vor allem auch Ostindien.

⁵⁾ Die „WALLACE-GRENZE“, hauptsächlich für Säugetiere gültig, zieht sich durch die Lombokstrasse zwischen den Sunda-Inseln Bali und Lombok und durch die Makassarstrasse, fällt also nicht mehr ganz mit der tektonischen Grenze der Kontinentalschollen zusammen.

⁶⁾ Viktoria, Neu-Süd-Wales, Queensland, sowie Tasmanien und Neu-Seeland.

⁷⁾ Neuerdings sind auch im Kongo-Staat und in Togo ähnliche Blocklehme gefunden worden.

⁸⁾ In Brasilien, Provinz Rio Grande do Sul, und im nordwestlichen Argentinien; die Schichten sind aber noch wenig untersucht. Nach der schwedischen Südpolarexpedition scheinen auch die Falklands-Inseln Fundstellen zu tragen. Siehe E. KAYSER, Lehrb. der geol. Formationslehre, 4. Aufl. 1911, S. 266.

Da die Auffaltung der Anden wesentlich gleichalterig mit der Öffnung des Atlantischen Ozeans ist, so ist die Vorstellung eines ursächlichen Zusammenhanges von vornherein gegeben. Die amerikanischen Schollen hätten hiernach bei ihrem Abtreiben nach Westen an dem wahrscheinlich schon sehr alten und nur noch wenig plastischen Boden des Pazifik Widerstand gefunden, wodurch sich der einst den Westrand der Kontinentalscholle bildende ausgedehnte Schelf mit seinen mächtigen Sedimenten zum Faltengebirge zusammenschob. Hier haben wir also ein Beispiel dafür, dass auch die asiatischen Schollen sich relativ plastisch, das Sima sich relativ starr verhalten kann. Wir dürfen aber wohl als wahrscheinlich annehmen, dass das Sima auch nachgegeben hat, so dass die Faltung der Anden keineswegs der ganzen Breite des Atlantik (ca. 4000 km) äquivalent zu sein braucht. Ziehen wir hierzu noch den schon früher besprochenen Deckfaltenbau in Betracht, nach dem auch wohl hier wie bei den Alpen für das noch ungefaltete Areal eine 4—8mal so grosse Breite wie für das Gebirge anzunehmen ist, so sehe ich keine Bedenken mehr gegen diese Kombination¹⁾.

3. Gondwana-Land. Wenden wir uns in die vorangehenden gewonnenen Anschauungen über den Zusammenhang der Faltung mit horizontaler Verschiebung auch auf die tertiären Falten des Himalaya an, so gelangen wir zu einer Reihe überraschender Beziehungen. War auch jene Scholle, durch deren Zusammenstossung die höchste Gebirge der Erde entstand, von ähnlicher Grösse wie es nach der Überschiebungstheorie bei den Alpen der Fall war, so muss Vorderindien vor der Auffaltung eine lange Halbinsel gebildet haben, deren Südspitze neben derjenigen von Südafrika lag. Durch diesen Zusammenschub einer langen Halbinsel erklärt sich die eigentümliche Sonderstellung, welche Vorderindien „ringsum ein Bruchstück“ (Stress), in seiner heutigen Umgebung einnimmt.

In der Tat wird seit langem aus paläontologischen Gründen eine solche langgestreckte indomadagassische Halbinsel „Lemuria“ angenommen, die schon vor ihrem angeblichen Versinken lange Zeit vom afrikanischen Block durch den breiten Mozambique-Kanal und seine nördliche Fortsetzung, nach unserer Auffassung also durch eine breite meridionale Spalte, getrennt war. Nach DAQUEZ u. a. soll diese Spalte schon in der ersten der drei Abteilungen des mesozoischen Zeitalters, nämlich in der Trias, entstanden sein, da im unteren Jura (Lias) die Trennung bereits vollzogen war. Auch DOUVILLE kommt zu dem Schluss, dass Madagaskar schon in der Trias keine ungestörte Verbindung mehr mit Afrika gehabt hat. Sollte sich dies bestätigen, so hätte sich diese Spalte zwischen der langen ostindischen Halbinsel und Afrika bereits erheblich früher gebildet als diejenige des südatlantischen Ozeans. Der Zusammenschub der indischen Halbinsel ist aber wohl vorzugsweise erst im Tertiär vor sich gegangen, und dauert anscheinend noch heute fort²⁾.

Weiter lassen aber die paläontologischen Befunde keinen Zweifel darüber, dass auch Australien früher eine direkte Landverbindung sowohl mit Vorder-

¹⁾ Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Darstellung in vielen Punkten notgedrungen schematisiert ist. Namentlich in Nordamerika sind nur die westlichsten Ketten der Korridoren tertiären Ursprungs, während die östlichen älter sind, und zwar um so mehr, je östlicher sie liegen. Mit der Trennung von Europa können natürlich nur die tertiären Falten in Verbindung gebracht werden.

²⁾ Man spricht in der Geologie vielfach von einseitigem Druck bei der Gebirgsbildung, und nimmt speziell beim Himalaya an, der Druck sei von N. nicht von S. gekommen. Demgegenüber muss betont werden, dass nach bekannten physikalischen Prinzipien Wirkung stets gleich Gegenwirkung, also auch Druck gleich Gegenruck ist. Wo also ein unsymmetrischer Bau der Faltengebirge beobachtet wird, kann die Ursache wohl nicht in einseitigem Druck, sondern nur in anderen Faktoren, wie verschiedene Grösse oder Mächtigkeit der beiden Schollen, verschiedene Rieghheit (so dass nur die eine sich faltet) und ähnlichem gesucht werden, woraus sich aber keine Argumente gegen die obige Auffassung ableiten lassen.

KOKEN hat in einer besonderen Abhandlung¹⁾ gezeigt und durch eine Karte erläutert, dass bei der heutigen Anordnung der Länder eine so grosse Ausdehnung der polaren Eiskappe vollständig unmöglich ist. Denn selbst wenn man die südamerikanischen Funde als unsicher fortlässt, was gegenwärtig kaum mehr zulässig sein dürfte, und den Pol an die denkbar günstigste Stelle, nämlich mitten in den Indischen Ozean legte, so erhielten die fernsten Gebiete mit Inlandeis immer noch geographische Breiten von ca. 30—33°. Bei einer solchen Vereisung könnte kaum irgend ein Teil der Erdoberfläche von glazialen Erscheinungen frei geblieben sein. Und dabei fiel dann der Nordpol auf Mexiko, wo doch keine Spur einer Vereisung im Perm zu erkennen ist. Die südamerikanischen Funde aber würden gerade an den Äquator zu liegen kommen.

Die permische Eiszeit bildet also für alle Anschauungen, welche Horizontalverschiebungen der Kontinente nicht annehmen wollen, ein mißbares Problem. Ohne alle anderen Argumente würden diese Verhältnisse, wie übrigens PEXCK schon hervorgehoben hat, es nahelegen, „die Bewegung der Erdkruste in horizontalem Sinne als eine ersttaft in Erwägung zu ziehende Arbeitshypothese das Auge zu fassen“²⁾.

Wenn wir uns nach den oben entwickelten Ideen den Zustand zur permischen Zeit rekonstruieren, so rücken alle von der Vereisung getroffenen Gebiete konzentrisch auf die Südspitze von Afrika zusammen, und wir haben nur nötig, den Südpol in das nunmehr sehr beschränkte Vereisungsgebiet zu legen, um der Erscheinung alles Unerklärte zu nehmen. Der Nordpol läge dann jenseits der Beringstrasse im Pazifik. Auf diese ältere Pollage und die Verschiebungen des Pols überläuft werden wir noch zurückkommen.

5. Atlantische und pazifische Erdeise. Man ist schon vor langer Zeit auf den grossartigen morphologischen Unterschied der atlantischen und pazifischen Erdeise aufmerksam geworden. Stress beschreibt ihn in folgender Weise³⁾:

„Die Innenseite von Faltenzügen, zackige Riasküsten, welche die Versinken von Ketten anzeigen, Bruchränder von Horsten und Tafelberge bilden (die mannigfaltige Umgrenzung des atlantischen Ozeans).

Derselbe Bau der Küsten tritt auch im Indischen Ozean hervor, ostwärts bis an die Gangesmündungen, wo der Ausseander der erasitischen Ketten das Meer erreicht. Die Westküste Australiens zeigt gleichfalls atlantischen Bau.

.... Mit Ausnahme eines Stückes der mittelamerikanischen Küste in Guatemala, an welcher die unschwenkende Koralliere der Antillen abgesehen ist, werden alle genauer bekannten Umgrenzungen des pazifischen Ozeans durch gefaltete Gebirge gebildet, deren Faltung gegen den Ozean gerichtet ist, so dass ihre äusseren Faltenzüge entweder die Begrenzung des Festlandes selbst sind oder vor denselben als Halbinseln und Züge von Inseln liegen.

Kein gefaltetes Gebirge wendet dem pazifischen Meere seine Innenseite zu; kein Tafelland tritt an den offenen Ozean heraus.“

Zu diesem morphologischen Unterschied gesellt sich noch eine Reihe anderer. BECKE erkannte 1908, dass die vulkanischen Laven der atlantischen Seite prinzipiell von denen der pazifischen verschieden seien; die atlantischen Laven enthalten grössere Mengen von Alkalien, namentlich Na, während bei den pazifischen Laven die Alkalien mehr zurück, und Ca und Mg mehr in den Vordergrund treten. Stress wirft deshalb bereits die Frage auf, „ob das Zurücktreten von Ca und Mg in der atlantischen Erdhalbe nicht mit dem Fortschreiten der Erstarrung in Verbindung stehen könnte.“

¹⁾ KOKEN, Indisches Perm und die permische Eiszeit. Festband d. neunten Jahrb. f. Min. Geol. u. Paläont. 1907.

²⁾ PEXCK, Süd-Afrika und Sambesifälle, Geogr. Zeitschr. 12, 11, S. 601 bis 611, 1906.

³⁾ Antlitz der Erde II, 256.

Weiter besteht ein systematischer Unterschied in den Meerestiefen. Nach KÄRMEL¹⁾ beträgt die mittlere Tiefe des pazifischen Ozeans 4087, die des atlantischen nur 3858 m, während für den Indischen Ozean mit zur Hälfte pazifischen und zur Hälfte atlantischen Charakter 3929 m folgt, wobei wiederum die atlantische Westseite tiefer ist wie die pazifische Ostseite. Dasselbe Bild ergibt die Verteilung der flachen Sedimente. Der rote Tiefsaure und der Radiolarienschlamm, die beiden echt abyssischen Sedimente, sind wesentlich auf den pazifischen Ozean und den östlichen Teil des Indischen Ozeans beschränkt, während der Atlantik und westliche Indik von „epilithischen“ Sedimenten bedeckt sind, deren grösserer Kalkgehalt mit der geringeren Meerestiefe in ursächlichem Zusammenhange steht²⁾.

So auffällig diese Unterschiede sind, so wenig wusste man sie bisher zu erklären: „Der tiefer Grund der Verschiedenheit der pazifischen und der atlantischen Erdhälfte ist nicht bekannt“ (Suess). Durch unsere Hypothese werden wir aber ganz von selbst auf einen solchen tiefgreifenden Unterschied geführt. Der Öffnung des atlantischen Ozeans entspricht ein fast allseitiges Drängen der Kontinente gegen den pazifischen Ozean; an den Küsten des letzteren herrscht allenthalben Druck und Zusammenschub, bei jenem Zug und Spaltung. Die ersten Abspaltungen traten nach unseren Ausführungen bei Südafrika in der Triasperiode ein. Damit harmoniert, dass im Kappgebirge seit dem vorangehenden Perm keine Faltung mehr eingetreten ist; in der Sahara ist Afrika sogar seit dem Oberjura, auf der „armorianischen Linie“ seit dem Mittel-Karbon frei von Faltungen geblieben. Man darf also annehmen, dass jene Spalte, deren weite Öffnung einst den Pazifik bildete und dem Urkontinent von beiden Rändern her Druck und Zusammenschub brachte, bereits in den ältesten geologischen Zeiten entstand, und dass diese Bewegung längst erloschen war, als die Kräfte auftraten, die den Atlantik schufen. Es ist nicht unwichtig, dass die so gewonnene Ansicht von einem sehr hohen Alter des Pazifik durchaus unseren sonstigen Kenntnissen über diese Frage entspricht. Freilich haben wir keine Möglichkeit, das Alter dieses Ozeans wirklich einwandfrei zu bestimmen. Von die vielen für tertiäre gehaltenen Haifischknochen, die oft in grossen Manganknollen eingeschlossen im roten Tiefsaure gefunden werden, und ebenso die zahlreichen in ihm enthaltenen Meteoritengesteine besagen nur, dass er sich jedenfalls äusserst langsam bildet. Da er aber auch in den tiefsten Teilen des Atlantik unterhalb 4000 m zu treffen ist, so ist seine Bildung offenbar noch mehr eine Funktion der Meerestiefe als der Zeit. Dennoch dürfte die von KOKES, FRECH (Lethaea palaeozoica) u. a. geäußerte Ansicht, dass der pazifische Ozean schon seit sehr alten geologischen Zeiten bestanden hat, heute von Geologen und Ozeanographen ziemlich allgemein angenommen sein³⁾.

Vielleicht gewinnen wir aber jetzt auch eine Möglichkeit, die Unterschiede der Meerestiefe zu erklären. Da wir für grössere Gebiete doch auch am Boden der Tiefsee isostatische Kompensationen annehmen müssen, so besagt der Unterschied, dass die nach unserer Auffassung alten Tiefseeböden spezifisch schwerer sind als die jungen. Nun ist wohl der Gedanke nicht von der Hand zu weisen, dass frisch entlastete Simafischen, wie der Atlantik oder westliche Teil des Indik, noch lange Zeit hindurch nicht nur eine geringere Riegheit, sondern auch eine höhere Temperatur (vielleicht um 100° im Mittel der obersten 100 km) bewahren als die alten, schon stark ausgekühlten Meeresebenen. Und eine solche Temperaturdifferenz würde wahrscheinlich genügen, um die relativ gering-

¹⁾ O. KÄRMEL, Handbuch der Ozeanographie Bd. I. S. 144.

²⁾ Vergl. die Karte der Tiefsee-Sedimente bei KÄRMEL a. a. O.

³⁾ Vergl. HAUG, Traité de Géologie, I. Les Phénomènes géologiques, Paris S. 170. — Nach FRECH wäre der Pazifik jedenfalls schon zur Jurazeit vorhanden gewesen.

unverändert verharret habe. Denn dann hätte er zur Eiszeit noch ca. 10° von Rande jener grossen Inlandeiskappe entfernt gelegen, die damals in ähnlicher Ausdehnung wie die heutige arktische Eiskappe Nordamerika und Europa bedeckte. Natürlicher ist es wohl, anzunehmen, dass der Pol zunächst mindestens 10° weiter, bis nach Grönland hinein, wanderte und erst seit der Eiszeit wieder auf seinen heutigen Ort zurückkehrte.

Von grossem Interesse ist es, sich die entsprechenden Lagen des Südpols zu rekonstruieren. Wenn der Nordpol selbst um 30° nach der Beringstrasse zu verschoben lag, so muss der Südpol immer noch etwa 25° südlich vom Kap der guten Hoffnung gelegen haben, d. h. auf dem damals anscheinend noch bis in diese Breiten reichenden Südpolarkontinent. In den uns näher bekannten Gebieten der Südhälbkugel werden wir also nur wenig oder gar keine Vereisungsreste aus jener Zeit erwarten können. Dagegen beweist die schon besprochene permische Eiszeit, dass in noch früheren Zeiten die Verschiebung eine noch grössere war (vielleicht 50°). Damals hätte der Nordpol noch weit jenseits der Beringstrasse in Pazifik gelegen, doch werden wir hier schon zur grössten Vorsicht in bezug auf Schlussfolgerungen gezwungen, weil hier unser Bild von dem Umfang und den Konturen des damaligen Urkontinents immer undeutlicher wird. Daher scheint mir nur eine Verfolgung dieser Verhältnisse in noch älteren geologischen Zeiten, wie sie durch die Spuren einer unterkanarischen Vereisung in China (im Gebiet des Yangtse), in Südaustralien bei Adelaide (nach WILLES) und anscheinend auch in Norwegen (nach HASS RICHSEN) nahegelegt wird, einwärtigen noch nützlich.

Nur auf eine eigentümliche Beziehung sei noch hingewiesen. Namentlich GREEN und EMBERTON haben die grosse Bruchzone der Mittelmeere, welche die Erde in Gestalt eines grössten Kreises umgibt, als einen alten Äquator der Erde aufgefasst. In der Tat bildet sie den Äquator für jene anscheinend im ganzen Mesozoikum behauptete Pöllage, bei welcher der Nordpol in der Gegend der Beringstrasse, der Südpol südlich von Afrika liegt. Wenn sich auch manche Bedenken gegen die Vorstellung jener Autoren erheben, dass diese Bruchzone auf die zertrümmernde Wirkung der Mondflut im Erdkörper zurückzuführen sei, die am Äquator den grössten Betrag erreiche, so ist doch die Beziehung als solche sehr zu beachten.

Von der grössten Wichtigkeit für das Verständnis der ganzen Erscheinung ist aber der Umstand, dass die grossen Verschiebungen der Pole offenbar gleichzeitig mit den grossen Verschiebungen der Kontinentalschollen erfolgen. Insbesondere ist das zeitliche Zusammenfallen der am besten beglaubigten Polverschiebung im Tertiär mit der Öffnung des atlantischen Ozeans evident. Auch das (relativ geringe) Zurückwandern der Pole seit der Eiszeit wird man mit der Abtrennung Grönlands und Australiens in Verbindung bringen können. Es scheint hiernach, als ob die grossen Kontinentalverschiebungen die Ursache der Polverschiebungen sind. Der Drehungspol wird jedenfalls dem Trägheitspol folgen müssen; wird dieser durch Verschiebung der Kontinente geändert, so muss der Drehungspol mitwandern.

Über die Art dieser Beziehungen hat namentlich SCHIAPARELLI sehr interessante Untersuchungen ausgeführt⁴⁾. Er fand, dass — die Erde als völlig starres vorausgesetzt — selbst durch die grössten (bisher angenommenen) geologischen Veränderungen die Pole der Trägheitsachse und damit auch die Rotationspole nur um ganz geringe Beträge verschoben werden können; bei Annahme einer gewissen Plastizität der Erde, die eine, wenn verzögerte Anpassung ihrer Form an die neue Rotation erlaubt, würden bereits ziemlich beträchtliche Be-

⁴⁾ SCHIAPARELLI, De la rotation de la terre sous l'influence des actions géologiques. Mémoire prés. à l'occasion de sa fête sémi-séculaire. St. Pétersbourg. Acad. imp. des sc. 1889. Die ersten Versuche einer Berechnung wurden bereits früher von DARWIN ausgeführt.

fügen Niveaudifferenzen der grossen ozeanischen Becken untereinander zu erklären⁵⁾.

6. Polverschiebungen. Trotz der grossen und berechtigten Vorsicht, welche man von geologischer Seite allen Annahmen über Polverschiebungen entgegenbringt, ist doch gerade von dieser Seite her in jüngerer Zeit soviel Material erbracht worden, dass eine grosse Verschiebung jedenfalls als nachgewiesen betrachtet werden darf: Im Laufe der Tertiärzeit wanderte der Nordpol von der Seite der Beringstrasse nach der atlantischen Seite herüber, der Südpol also entsprechend von Südafrika nach der pazifischen Seite.

In den beiden ältesten Abschnitten der Tertiärzeit, nämlich im Paleozän und noch mehr im darauf folgenden Eozän, war das Klima Westeuropas noch ausgesprochen tropisch⁶⁾, und auch noch während des Oligozäns waren Palmen und andere immergrüne Gewächse bis an den heutigen Ostseestrand verbreitet; im Oberoligozän der Wetterau finden sich z. B. massenhafte Hölzer und Blattreste von Palmen. Noch zu Anfang des folgenden Abschnitts, des Miozäns, kommen in Deutschland viele subtropische Formen vor, einzelne Palmen, Magnolien, Lorbeer, Myrthe usw.; später aber verschwinden diese, es tritt eine immer weiter gehende Abkühlung ein, so dass im letzten Abschnitt des Tertiärs, dem Pliozän, die Temperaturverhältnisse in Mitteleuropa von den heutigen bereits nicht mehr verschieden sind, und darauf folgt dann die Eiszeit. In dieser Veränderung zeigt sich deutlich das Näherücken des Pols. Dasselbe Bild der Polverschiebungen zeigen die ausseruropäischen Beobachtungen. Zu Beginn des Tertiärs, als der Pol noch seine alte Lage hatte, wuchsen, wie namentlich die klassischen Arbeiten HENNS zeigen, auf Grönland, Grinnell-Land, Island, Bäreninsel, Spitzbergen, — Orten, die heute 10—22° nördlich der Baumgrenze liegen — Buchen, Pappeln, Ulmen, Eichen, ja sogar Taxodien, Platane und Magnolien.

Dass es sich hierbei aber in der Tat um eine Polverlagerung und nicht nur um eine die ganze Erde betreffende Klimaänderung handelt, das beweisen namentlich die Untersuchungen NATHORNS⁷⁾ über die Tertiärflora Ostasiens, nach denen das Klima dieser Gebiete gleichzeitig wärmer wurde, während für Europa die Eiszeit hereinbrach. Er legt den Nordpol vor der Verschiebung in ca. 70° Nordbreite und 120° östlicher Länge. Die stark polare Tertiärflora der Neusibirischen Inseln würde dann unter damals 80° Breite zu liegen kommen, die Floren von Kamtschatka, vom Amurlande und Sachalin mit etwas wärmerem Charakter unter 63—67°, während die Floren mit erheblich wärmerem Anstrich, wie die von Spitzbergen, Grinnell-Land, Grönland usw., welche immergrüne Laubbäume aufweisen, ausserhalb des damaligen Polarkreises, nämlich in 64, 62, 53—51° Breite fallen würden. Auch andere Autoren, wie SEMPER, sind zu ähnlichen Resultaten gelangt, und es kann wohl überhaupt die Realität dieser grossen Verschiebung nicht mehr ernsthaft in Zweifel gezogen werden.

Es erscheint recht unwahrscheinlich, dass der Nordpol bei seiner tertiären Wanderung gleich an seine heutige Stelle gerückt sei und seit der Eiszeit hier

⁵⁾ Der kubische Ausdehnungskoeffizient von Granit ist 0,000269. Für 100° Temperaturerhöhung beträgt also die Ausdehnung 0,00269 des Volumens. Dies wäre zugleich auch die Abnahme des spezifischen Gewichts, wenn dasselbe anfangs gleich 1 gewesen wäre. War es 2,9, so erhält man:

für Sims von	0°	spez. Gew. 2,9000
	100°	2,8922.

Bei Isostasie würde diesem Gewichtsunterschied bereits eine merkliche Niveaudifferenz entsprechen.

⁶⁾ Nach SEMPER besteht im Eozän Belgiens 1/3, in dem von Paris die Hälfte der Arten aus tropischen Formen. Auch die miozäne Flora der Themse-mündung hat nach A. SCHREK (ZITTEL, Handb. d. Paläont., Phytopol. S. 807) ein tropisches Gepräge.

wegungen der Pole erklärbar sein, und in noch höherem Masse würde dies der Fall sein, wenn die Erde hinreichend plastisch ist, um ohne wesentliches Nachhaken sich den jeweiligen Rotationsverhältnissen anzupassen. Nach den Ergebnissen der Geophysik haben wir offenbar für geologische Zeiträume, wie sie hier in Betracht kommen, von der letzten Annahme Gebrauch zu machen. Schon mehrfach sind Versuche gemacht worden, auf solche Weise die Polverschiebung zu berechnen, welche durch irgend eine beobachtete Massenverschiebung verursacht werden musste. Da man aber immer nur sehr geringe Verschiebungen, wie man sie z. B. bei Erdbeben konstatieren konnte, in Betracht zog, so kam man stets zu dem Schluss, dass die bewirkte Polverschiebung unmerklich klein sein müsste. So finden z. B. HAYFORD und BALDWIN unter der Annahme, dass sich beim Erdbeben von S. FRANCISCO 1906 eine Erdscholle von 40000 qkm Oberfläche, 118 km Dicke und von der mittleren Dichte 4 sich um 3 in nach N. verschoben hat, dass sich hiordurch der Pol der Trägheitsachse nur um 0,0007°, d. h. um 2 mm verlagert haben kann⁸⁾. Nach unseren Vorstellungen haben wir es aber mit Verschiebungen zu tun, welche zum Teil hundertmal grössere Schollen betreffen und dabei den ausgeprochen Betrag pro Jahr erreichen könnten (s. u.). Jedenfalls sieht man sogleich, dass auf diese Weise leicht fortsetzbare Verlagerungen der Trägheitspole stattfinden können, welche die Hunderttelsekunde pro Jahr (oder 1° in 360000 Jahren) erreichen können, und damit kommen wir auf eine Grössenordnung, wie wir sie zur Erklärung der geologischen Polverschiebungen brauchen. Der Zusammenhang zwischen diesen und den von uns angenommenen Horizontalverschiebungen der Kontinente erscheint also auch theoretisch gerechtfertigt, wenn auch die exakte Untersuchung noch aussteht.

IV. Gegenwärtige Horizontalverschiebungen.

1. Grönland. Nehmen wir an, die Trennung Skandinaviens von Grönland wäre vor 50,000—100,000 Jahren erfolgt (was wohl der grossen Eiszeit einigermaßen entsprechen dürfte, da nach den neueren Untersuchungen von HENNS und amerikanischen Geologen seit der letzten Eiszeit nur etwa 10,000 Jahre verlossen zu sein scheinen) und nehmen wir weiter an, die Bewegung sei während der ganzen Zeit mit gleichförmiger Geschwindigkeit erfolgt und dauere noch heute fort, so würde sie etwa 14—28 m pro Jahr betragen, eine Grösse, die sich durch astronomische Ortsbestimmung ohne Schwierigkeit ermitteln lassen müsste. Nur an einem Punkte, nämlich auf Sabine-Insel an der Ostküste liegenden Längenmessungen aus verschiedenen Zeiten vor. Dabei zeigt sich zwischen 1822 (SABINE) und 1870 (BÖRGEN und CORLEAND) eine Vergrösserung der Entfernung von Europa um 260 m, zwischen 1870 und 1907 (KOCN) eine weitere Vergrösserung um 690 m, zusammen in 84 Jahren eine Vergrösserung des Abstandes um ca. 950 m oder um 11 m pro Jahr.

Leider sind diese Messungen mit Hilfe des Mondes nur wenig genau, und zudem herrscht über die gewisse Unsicherheit über die Lage von SABINE'S Observatorium. Es ist daher zu hoffen, dass möglichst bald durch eine nochmalige genaue Längenbestimmung und durch eine Revision von SABINE'S Beobachtungsort die letzten Zweifel an der Realität dieser Verschiebung beseitigt werden.

2. Nordamerika. Für Nordamerika werden wir eine sehr viel geringere Geschwindigkeit erwarten, da die Trennung von Europa ja bereits im Tertiär erfolgt ist. Andererseits haben aber hier die transatlantischen Kabel eine grössere Genauigkeit der Längenbestimmung ermöglicht. Nach SCHOTT geben die drei grossen Längenbestimmungen von 1866, 1870 und 1892 folgende Werte der Längendifferenz Cambridge-Greenwich:

⁸⁾ HAYFORD und BALDWIN, Movements in the California Earthquake. Coast and Geod. Survey, Report for 1906—1907. Appendix 3, S. 97 (zitiert nach RUDZKI).

1866: 4 h 44 m 30,89 s
 1870: 4 „ 44 „ 31,065 „
 1892: 4 „ 44 „ 31,12 „

Diese Beobachtungen scheinen also auf eine Vergrößerung der Entfernung um etwa $\frac{1}{100}$ Zeitzekunde (4 m) pro Jahr hinzudeuten. Da der heutige Abstand etwa 3500 km beträgt, so würden bei gleichförmiger Bewegung hiernach rund 1 Million Jahre seit der Trennung verstrichen sein.

Natürlich sind auch diese Zahlen noch als kaum ausreichend zu betrachten, um die Realität der Verschiebung zu beweisen, denn der beobachtete Unterschied von 0,23 Sekunde lässt sich zur Not noch aus der grösseren Ungenauigkeit der älteren Beobachtungen erklären. Da seit der letzten Längenbestimmung aber bereits wieder 20 Jahre verflossen sind, so würde es wahrscheinlich möglich sein, durch eine Wiederholung derselben bereits heute eine Entscheidung herbeizuführen.

Die gleichfalls zu erwartenden Breitenänderungen Australiens habe ich nicht untersuchen können. — Wenngleich die vorliegenden Zahlen sich, wie mir scheint, nicht mehr ohne Gewalt auf blosse Beobachtungsfehler zurückführen lassen, so ist doch einleuchtend, dass genauere Feststellungen abgewartet werden müssen, ehe man den Nachweis von Horizontalverschiebungen der Kontinental-schollen im Sinne unserer Hypothese als erbracht ansehen darf.