



# WILEY

---

Über Aenderungen der geographischen Breiten und des Klimas in geologischer Zeit

Author(s): W. Köppen

Source: *Geografiska Annaler*, Vol. 2 (1920), pp. 285-299

Published by: Wiley on behalf of Swedish Society for Anthropology and Geography

Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/519537>

Accessed: 27-06-2016 17:31 UTC

---

Your use of the JSTOR archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use, available at

<http://about.jstor.org/terms>

JSTOR is a not-for-profit service that helps scholars, researchers, and students discover, use, and build upon a wide range of content in a trusted digital archive. We use information technology and tools to increase productivity and facilitate new forms of scholarship. For more information about JSTOR, please contact [support@jstor.org](mailto:support@jstor.org).



*Swedish Society for Anthropology and Geography*, *Wiley* are collaborating with JSTOR to digitize, preserve and extend access to *Geografiska Annaler*

# ÜBER ÄNDERUNGEN DER GEOGRAPHISCHEN BREITEN UND DES KLIMAS IN GEOLOGISCHER ZEIT.

VON W. KÖPPEN, HAMBURG.

Da das Klima früherer geologischer Perioden nur nach seinen Wirkungen mittelbar erkannt werden kann und diese Wirkungen selbst noch vielfach ungenügend bestimmt sind, so ist dessen Feststellung recht schwierig. Es gelingt nur langsam, die grosse Zahl der möglichen Deutungen einzuschränken und so einen festen Boden zu gewinnen. Eine Abwägung dieser verschiedenen Deutungen werde ich hier nicht vornehmen, vielmehr mich begnügen, diejenige Auffassung darzulegen, die mir als die weitaus wahrscheinlichste erscheint. Es ist die Auffassung, die durch Alfred Wegener ihre letzte Ausbildung erhalten hat<sup>1</sup> und die sich dahin fassen lässt:

die Klimageschichte eines Ortes ist in der Hauptsache die Geschichte seiner Lage zu den Klimagürteln, vor allem die Geschichte seiner geographischen Breitenlage.

Die notwendige Kürze möge die bestimmte Ausdrucksweise im Folgenden entschuldigen. Je klarer die Fragestellung an die Natur gefasst wird, desto mehr kann unser noch so geringes Wissen auf diesem Gebiete wachsen.

Die obige Auffassung besteht in der Annahme einer sehr langsamen, aber unbegrenzten Veränderlichkeit aller geographischen Oerter, bei annähernder Unveränderlichkeit der Sonnenstrahlung und ihrer zonalen Verteilung. Die Änderungen der geographischen Oerter geschehen einerseits durch Verlegungen der Erdachse — Polwanderungen —, andererseits durch Verschiebungen der Kontinentalblöcke und ihrer Teile gegen einander.

Die Erdkruste besteht aus zwei Schichten, deren obere jedoch, die Lithosphäre, unvollständig ist und nur in Gestalt der Kontinentalblöcke — der Festländer samt den sie umgebenden Schelfen — in der unteren Schicht, der Barysphäre, schwimmt. Das Material der unteren Schicht (Sima), das in der Tiefsee blossliegt, ist etwas schwerer und minder starr, dabei ärmer an Kieselsäure und reicher an Magnesium und Eisen, als das der Kontinentalblöcke (Sial).

---

<sup>1</sup> Alfred Wegener: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Soeben in zweiter, gänzlich neu bearbeiteter Auflage erschienen als Band 66 von Viewegs Sammlung »Die Wissenschaft« (Braunschweig 1920).

Gegenwärtig ist der Einfluss der geographischen Breite auf die Jahresmittel der Lufttemperatur etwa fünf mal so gross, wie der der Verteilung von Wasser und Land. Ihre extremen Unterschiede nach der geogr. Länge sind im Durchschnitt nur  $9^\circ$ , die nach der Breite  $45^\circ$ ; und ebenso etwa wird es stets gewesen sein. Man kommt also für die Erklärung der grossen Temperaturaenderungen in der Erdgeschichte viel weiter mit der Annahme von Aenderungen in den Breiten, als in der blossen Land- und Wasser-Verteilung. Die letztere reicht dafür tatsächlich nicht aus, und die Bemühungen von Woeikof und andern, damit auszukommen, waren zwar lehrreich, aber vergeblich.

Nun heisst es aber: die Astronomen haben ja bewiesen, dass erhebliche Verlagerungen der Drehungsaxe in der Erdmasse nicht möglich sind. *Das ist ein grosses Misverständnis!* Der Beweis von Laplace gilt für eine absolut starre Erde<sup>1</sup>. Die Erde ist aber nicht absolut starr. Solange der Aequatorwulst des Erdsphäroids unverrückt bleibt und wir nur mit den oberflächlichen Massentransporten durch Abtragung und Zusammenschub der Gebirge rechnen, kann die Drehungsachse der Erde nur ganz geringe Bewegungen — den sogen. Eulerschen Kreis — um deren sich kaum verschiebende Trägheitsaxe ausführen. Aber der Aequatorwulst ist eben, infolge der Zähflüssigkeit der Erdmasse, nicht unverrückbar, und die Verschiebungen der Trägheitsaxe sind daher unbegrenzt, dazu infolge der Bewegungen der Kontinentalblöcke viel grösser, als man bisher für möglich hielt. Wenn die Abweichung der Drehungsaxe von der Ellipsoidaxe — d. h. der kürzesten Axe des Erdsphäroids — eine gewisse Grösse erreicht hat, passt sich die Figur der Erde der neuen Drehungsaxe soweit an, als die Zähigkeit es jeweils gestattet. Die weitere Verlegung der Trägheitsaxe wird dadurch frei und diese sowie die von ihr abhängige Drehungsaxe und die von dieser mitgeschleppte Ellipsoidaxe der Erde verändern alle 3 sehr langsam, aber unbegrenzt, ihre Lage, immer in geringer, durch die Zähigkeit bestimmter Entfernung von einander. Der Aequator kann dabei sämtliche Gegenden durchlaufen, wie dies Schiaparelli nachgewiesen hat, und selbstverständlich gehen dabei die Wärmegürtel mit.

Wir können also, wenn wir die Temperatur einiger Punkte der Erdoberfläche kennen, die Lage der Erdaxe in einer ersten Annäherung bestimmen. Zu dieser Kenntnis aber verhelfen uns die Reste von Pflanzen und Tieren, die Gletscherspuren und die Form und Zusammensetzung des Bodens. Haben wir zunächst die Hauptzüge des Bildes durch ungefähre Festlegung von Pol und Aequator bestimmt, so müssen wir sie weiter durch möglichste Ermittlung der Verteilung von Land und Meer und der Gebirge korrigieren und ergänzen.

Aber auch Land und Meer und Gebirge werden in erster Linie durch die Ver-

<sup>1</sup> Vgl. Schiaparelli: De la rotation de la terre sous l'influence des actions géologiques. Petersburg 1889.

schiebungen der Erdaxen und der Kontinentalblöcke bestimmt. Die Verlegung der Erdaxe bringt Überflutung am neuen Äquator, Trockenlegung an den neuen Polen, weil die Niveauflächen dort steigen, hier sinken, soweit nicht die Belastung mit einer Eiskappe dem entgegen wirkt<sup>1</sup>. Und die Auffaltung von Gebirgen geschieht grösstenteils dort, wo die Kontinentalblöcke in ihrer Bewegung zum Äquator und nach Westen auf Widerstände stossen.

Die Entwirrung der scheinbar widerspruchsvollen Befunde über die geologischen Klimate wurde durch einige zufällige Umstände erschwert und auf falsche Wege geleitet. Die meisten Länder, die geologisch untersucht wurden, Europa voran, haben vom Kambrium bis zum Eozän in der heissen Zone gelegen, die ja ohnedies die Hälfte der Erdoberfläche einnimmt. Zudem zeigen die Meeres-tiere, die uns am meisten aufbewahrt sind, den Einfluss der Temperaturzonen nur sehr unvollkommen. Man war daher geneigt, eine auf der ganzen Erde gleichmässige hohe Temperatur anzunehmen. Anzeichen kalter Gebiete wurden erst spät erkannt; zuerst im Quartär auf der nördlichen, viel später im Permokarbon auf der südlichen Halbkugel. Für die ganze Zwischenzeit blieben die Polarzonen verschwunden, ja sogar in diesen Zeiten wollten sie kaum oder gar nicht ihr notwendiges Gegenüber finden. Die Spuren der älteren Eiszeit waren zudem unbegreiflich verstreut, und die der neueren in Nordamerika um ebensoviel südlicher gelegen, als in Europa, wie die jetzigen Jahresisothermen auch. Dazu kam der Glaube der Geologen an die Unveränderlichkeit der Erdaxe. So wurde denn abwechselnde Erwärmung und Erkaltung für die ganze Erde angenommen und nach letzterer im Permokarbon auf der nördlichen Halbkugel — vergeblich — gesucht. Für das Gegenstück der neueren Eiszeit konnte man sich auf der wenig erforschten wasserbedeckten Südhalbkugel leichter beruhigen. Aber zwischen die eingehend untersuchten Eiszeiten der Alpen und Nordamerikas schoben sich deutliche Spuren von Interglazialzeiten mit nicht nur warmem, sondern überraschenderweise trockenem Klima ein.

Alles dies klärt sich nun erst allmählich auf, nachdem der Bann der angeblichen Unmöglichkeit der Polverschiebungen aufgehoben ist. Die Polarzonen waren unauffindbar, weil die nördliche vom Kambrium bis zum Eozän inmitten des Stillen Ozeans gelegen hat, die südliche aber nach dem Perm auf Antarktika und den südlichen Meeren, zum Teil vielleicht auch in Patagonien, wo sie aber auf das »bekanntlich« kalte Diluvium bezogen wurde. Die Zerstreuung der Spuren der älteren Eiszeit über Afrika, Australien, Vorderindien und Südamerika ist eine Folge der nachträglichen Verschiebung dieser, in jener Eiszeit nach A. Wegeners Rekonstruktion zusammenliegenden Länder. Der Parallelismus der Eiszeit-

<sup>1</sup> Vgl. Köppen: Über Isostasie und die Natur der Kontinente. Hettner's Geogr. Zeitschr. Bd 25, S. 43—44. Besonders bezeichnend ist es, dass kleine Inseln, wie Shetlands und Bären-Insel, nicht steigen, weil sich auf ihnen keine so mächtige Eisdecke in der letzten Eiszeit ausbilden konnte.

spuren in Nordamerika und Europa mit den heutigen Isothermen ist, wie auch die gleiche geographische Breite beider Länder im Karbon u. s. w., ein zufälliges Zusammentreffen. Auch diese Zusammenhänge bekamen dabei durch die Verschiebung der Kontinente und die späte Entstehung des Nordatlantischen Ozeans eine viel einfachere und klarere Fassung, die auch zu dem Steppenklima der Interglazialzeiten stimmt.

Lassen wir die Zeiten vor dem Devon als noch zu unsicher fort, so stellt sich uns die Klimageschichte Deutschlands in ihren grossen Zügen wie folgt dar.

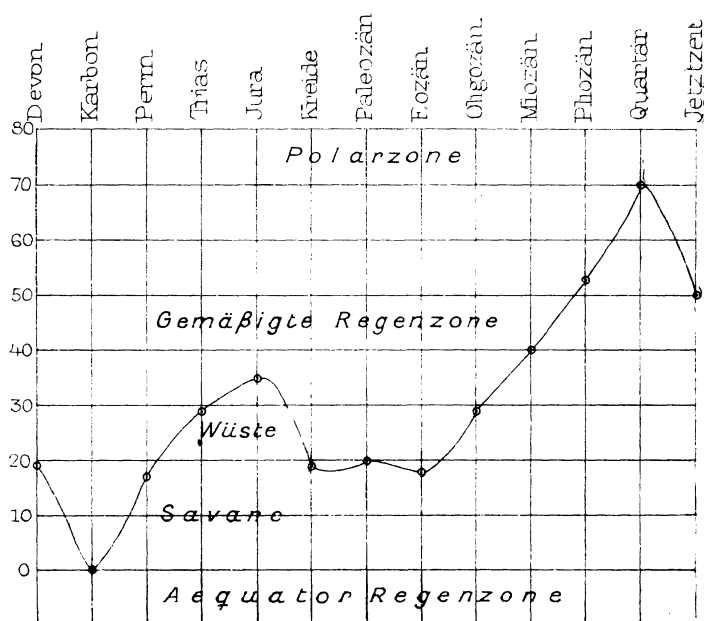


Fig. 1. Breitenänderung von Mitteldeutschland.

Zunächst zeigt uns Fig. 1. die ungefähre geographische Breite, auf der Mitteldeutschland in den verschiedenen Zeitaltern der Erdgeschichte lag, und die Klimazonen, denen es dementsprechend angehörte. Es ist ziemlich wahrscheinlich, dass die viel schnelleren Breitenschwankungen, die sich uns im Quartär durch den Wechsel der Eis- und der Interglazialzeiten verraten, auch in früheren Zeitaltern vorkamen, vielleicht auch die Regel bildeten, und dass sie nur in niedrigen Breiten weniger bemerkbar sind, namentlich in älteren Ablagerungen. Ob diese kürzeren Schwankungen aber ebenfalls auf Breitenänderungen oder auf den bekannten Schwankungen in der Schiefe der Ekliptik<sup>1</sup> beruhten, möge noch dahingestellt bleiben. Die mittlere Lage für die ganze Formation ist das höchste, was wir zur Zeit bestimmen können; sie ist in Fig. 1 durch die Kreise bezeichnet.

<sup>1</sup> Ekholm: On the variations of climate u. s. w. Quart. Journ. R. Met. Soc.; Jan. 1901.

Von diesen Breitenänderungen kommt der grössere Teil auf Rechnung der Axenschwankungen der Erde. Dazu kommt die Südwärts-Verschiebung der europäischen Scholle beim Zusammenschub der Hercynischen Gebirge im Karbon und der Alpen im Neogen.

Wie man sieht, lag Deutschland in der Zeit, da die Steinkohlen gebildet wurden, in dem äquatorialen Regengürtel. Der Beweis dafür liegt darin, dass gleichzeitig 90 Breitengrade davon der Mittelpunkt der südlichen Vergletscherung in Südafrika lag. Figur 2 lässt erkennen, dass auch die Steinkohlenlager Englands, Nordamerikas und Chinas in nächster Nähe des Äquators entstanden sind. Dass auch damals in diesem Gürtel, wie heute, Jahrestemperaturen über  $25^{\circ}\text{C}$  herrschten, wird durch das offenbar sehr schnelle Wachstum jener Schachtelhalm-, Farn- und Bärlappbäume bestätigt. Wodurch deren Verwesung unterdrückt wurde, so dass die Steinkohle sich bilden konnte, wissen wir noch nicht; niedrige Temperatur kann es nicht gewesen sein; eher vielleicht ihr Wachstum im tropischen Wattenmeere nach Art der jetzigen Mangrovewälder. Kohlenlager findet man zwar in allen Formationen, ausser den ältesten, an einigen Stellen der Erde, besonders aus Zeiten, wo die natürliche Entwässerung des Landes durch Bodenbewegungen gestört war. Es bleibt ein sehr merkwürdiges Problem, warum dieses *eine* Zeitalter in deren Erzeugung ein so erstaunliches Uebergewicht hat. Dies lag wohl weniger an einem so viel stärkeren Pflanzenwuchs, als an den Bedingungen zur Kohlebildung und der besonderen Natur dieser längst ausgestorbenen Pflanzengeschlechter.

In Deutschland freilich folgte auf diesen üppigen Pflanzenwuchs eine unermesslich lange Zeit der Dürre, da es durch eine relativ rasche Südwärts-Bewegung des Äquators in die nördliche Trockenzone geriet, die zudem durch die kontinentale Lage sehr ausgedehnt und verstärkt war. Denn der Nordostpassat, der es bestrich, hatte wie bei der heutigen Sahara seinen Ursprung in Asien, und auch als es im Jura ins Gebiet der Westwinde kam, so waren diese trocken, denn der Atlantische Ozean bestand damals noch nicht. Die gewaltigen, durch Verdunstung in Meeresbuchten von der Art des Karaboghas gebildeten Salzlager im Zechstein sprechen ebenso deutlich für ein Wüstenklima, wie die fossilienarmen roten Sandsteine des Buntsandsteins, die Windkantner u. s. w. Waldwuchs dürfte in dieser ganzen Zeit — vom Perm bis zum Eozän — in Deutschland wohl nur an den Flussläufen, als »Galeriewald« und teilweise in den Gebirgen geherrscht haben. Der Äquator lag mit geringen Schwankungen südlich davon, in dem grossenteils aus Flachmeer mit Inseln bestehenden Mittelmeer, das sich von Westindien bis zu den Molukken zog. Im Neogen stiegen aus diesem Meere Pyrenäen, Alpen, Kaukasus und Himalaya empor.

Im Eozän scheint Deutschland eine besonders niedrige Breite erreicht und ganz tropische Flora und Fauna gehabt zu haben; worauf es dann verhältnismässig

schnell durch Verlegung des Nordpols aus dem Stillen Ozean bis über Grönland hinaus in höhere Breiten geriet, trotzdem es gleichzeitig durch den Zusammenschub der Alpen wohl mehr als  $10^\circ$  nach Süden verschoben wurde. Im Oligozän wuchsen noch Palmenwälder in der Wetterau u. s. w.; im Miozän entsprach die Pflanzenwelt, mit Zimtbäumen, Gingko, Magnolien, derjenigen Japans. In diesem Klima sind die meisten unserer Braunkohlen in Sumpfwäldern mit Taxodien u. s. w. entstanden. Im Pliozän finden wir in Deutschland dessen heutige Flora, bereichert durch eine Anzahl nordamerikanischer und ostasiatischer Gewächse, die erst durch die folgende Eiszeit vernichtet wurden und nicht wieder einwandern konnten. Die Tierwelt war viel reicher als jetzt; ihre Einschränkung ist nicht nur durch die Eiszeit, sondern auch durch den Menschen erfolgt. Der Wiedereinwanderung nach der Eiszeit standen Mittelmeer und Sahara im Wege.

Die Eiszeiten sind ein Erzeugnis des Zusammenwirkens von Kälte und Schneefall. Wo mehr Schnee fällt, als im Laufe des Jahres durch Verdunstung und Ablation entfernt werden kann, findet Abfuhr durch Gletscher statt. Aber die Rolle der beiden Faktoren kann verschieden sein: wo sehr starker Schneefall herrscht, bedarf es keiner grossen Kälte, sondern nur eines trüben und ziemlich kühlen Sommers, um eine starke Gletscherentwicklung hervorzurufen. An der Magellanstrasse und in Neuseeland fällt die Schneegrenze beinahe mit der Baumgrenze zusammen; Alpenweiden fehlen hier beinahe und an den untern Gletscherenden wachsen wärmeliebende Gewächse wie z. B. Fuchsien. Wo aber der Frost fast ununterbrochen herrscht, da genügen auch recht kleine Schneemengen, um dasselbe Ergebnis, die Ansammlung von Firn und Abfuhr in Gletschern zu erreichen. So in den polaren Ländern. In diesen erstreckt sich zwischen der Baumgrenze und der Grenze des ewigen Schnees ein weites Gebiet mit Moos- und Flechtentundren, in besseren Lagen mit Polarweiden und Zwergbirken, wo Moschusochse, Polarlemming und Eisfuchs, näher an der Waldgrenze auch Rentier, Vielfrass und Wolf ihre Nahrung finden. Alle diese Tiere und Pflanzen haben aber nachweislich auch an der Grenze des europäischen Bineneises gelebt, das also mehr durch Kälte als durch massenhafte Niederschläge bedingt war. Die Blockfelder in manchen Gegenden Deutschlands, z. B. im Vogelsberg, müssen durch Erdfließen auf dauernd gefrorenem Untergrund entstanden sein. Sie deuten also auf eine mittlere Jahrestemperatur unter  $-2^\circ$  in Gegenden, wo sie jetzt  $6-7^\circ$  beträgt, dabei auf eine nur mässige winterliche Schneedecke, also auf ein kontinentales Klima. In den Interglazialzeiten ist dieses anscheinend ohne eine Unterbrechung durch ein Waldstadium in ein mässig warmes Steppenklima übergegangen, in dem Ziesel, Pfeifhase, Bobak, Pferdespringer Mitteldeutschland bewohnten und selbst die Saiga-Antilope bis ins Themsetal vordrang, verfolgt von Löwen und Hyänen. Die Reste von Hirschen, Nas-

hörnern, Dachs, Iltis u. s. w. zeigen, dass der Steppe, wie in der heutigen Ukraina und SW-Sibirien, auch Wälder und Haine beigemischt waren, doch scheinen Steppe und Tundra immerhin sich berührt zu haben, was heute im Flachlande kaum auf Feuerland, und im Gebirge wohl nur im trockensten Zentralasien der Fall ist. Es scheint also, dass der Rand des Binneneises auf dem Europäisch-Nordamerikanischen Kontinent bis in ein trockenes Klima vorgeschoben war. Für das randliche Abschmelzgebiet der Eisdecke ist das ja durchaus möglich; im zentralen Firngebiet desselben, über Skandinavien und Britisch Nordamerika, muss freilich die Schneemenge unbedingt grösser, als der Verlust durch Schmelzung und Verdunstung gewesen sein.

Analogien mit der Jetztzeit versagen hier, weil jetzt nirgends das Binneneis auf einem so ausgedehnten Festland ruht. Es lässt sich jedoch vermuten, dass die polare Anticyklone sehr verstärkt war und an ihrem Rande Ost- und Nordostwinde von grosser Beharrlichkeit und Stärke herrschten, analog den Ostwinden am Rande der südpolaren Eiskappe, aber mit trockenem heiterem Strahlungswetter.

Aus der Verbreitung einiger Gewächse, insbesondere der Haselnuss in Schweden, scheint hervorzugehen, dass der letzten Eiszeit dort eine Zeit gefolgt ist, die einen noch wärmeren Sommer als die heutige hatte. Da die Haselnuss jetzt in Skandinavien nördlicher geht als irgendwo sonst, kann dies kaum an einer Aenderung der Küstenlinien, sondern muss entweder an einer solchen im Polabstand liegen, oder an der grösseren Kontinentalität bei gleich hoher Jahrestemperatur.

Gegenden, wie die Nordränder von Asien und Nordamerika, mit Julitemperaturen von  $4-5^{\circ}$ , befinden sich gewissermassen in labiler Lage, indem, wenn einmal die Schneedecke einen aussergewöhnlich kalten Sommer überdauern würde, die Bedingungen für deren Erhaltung von Jahr zu Jahr günstiger würden. Denn die Temperatur über dem ewigen Schnee wird um  $c. 7^{\circ}$  durch Ausstrahlung und um je  $5^{\circ}$  für jede 1000 m von seinem Dickenwachstum erniedrigt, so dass die Firnbildung, bei gleichbleibendem Schneefall, zunehmen muss. Wäre in diesen Ländern ein Gebirgskern da, wie in Grönland und Skandinavien, so würde er zu Binneneis führen. Abschmelzende Enden des Binneneises bleiben gelegentlich tot liegen, und wenn sie genügend von Erde überdeckt werden, dass die Sommerwärme nicht zu ihnen dringen kann, werden sie fossil wie ein Gestein.

Die Stellung eines Orts im Klimasystem der Erde hängt ausser von der geographischen Lage auch von der Verteilung von Land und Meer ab. Diese ist bis jetzt nur für kleinere Teile der Erdoberfläche und gewisse Zeiträume der Erdgeschichte festgestellt; um ihre Wirkung auf das Klima zu beurteilen, wird man sie erst für die Erde im Grossen mit ziemlicher Sicherheit kennen müssen. Dagegen lässt sich die Stellung der Erdachse und die relative Lage der Kontinentalblöcke schon jetzt mit beträchtlicher Wahrscheinlichkeit für die Zeit seit



dem Karbon angeben. In dem eingangs genannten Buche von A. Wegener und in einem Aufsatz von mir in Petermanns Mitteilungen findet man unsere Vorstellungen über diese Fragen für mehrere Zeiträume und in verschiedener Darstellungsweise veranschaulicht. In noch anderer Form sind einige Hauptdaten in der Fig. 2 gezeigt.

Die ungefähre Lage des Aequators und der Pole in der Mitte des Tertiärs und des Quartärs ist in der Figur nach Kreichgauers Buch »Die Aequatorfrage in der Geologie« (Steyl 1902) dargestellt, das in diesen Punkten genügend mit A. Wegeners Auffassung übereinstimmt. Für das Karbon ist sie nach Wegener

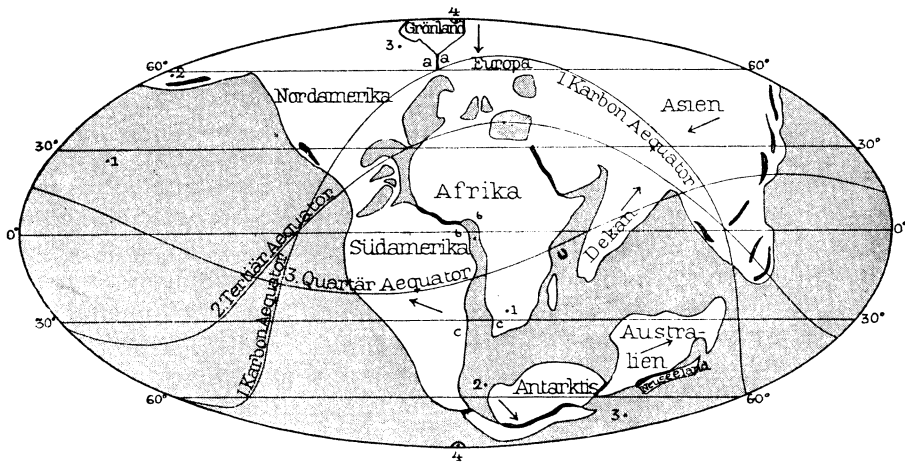


Fig. 2. Die Erdachse im Karbon, Mittel-Tertiär und Quartär. — Ungefähre Lage und Bewegungs-Richtung der Kontinentalblöcke im Oligozän. — 1, 2, 3, 4 Lage der Pole im Karbon, im Oligozän, im Quartär und jetzt. — aa, bb, cc Übereinstimmende alte Faltungen. — grau: Tiefsee (entblösstes Sima). Flachsee nicht bezeichnet.

entworfen. Die Lage der Kontinentalblöcke im mittleren Tertiär — ohne Rücksicht auf deren Wasserbedeckung — ist nach Wegeners Buch und mündlichen Beratungen mit ihm eingezeichnet, Afrika als festliegend genommen. Die Trennung Südafrikas von Südamerika und des Dekans von Madagaskar war am Ende der Kreide, die Australiens vom Dekan schon im Jura, von der Antarktis aber erst im Tertiär erfolgt. Der Zusammenschub Hochasiens wie die Bildung der Alpen und Kordilleren hatte dagegen kaum begonnen.

Im Karbon und Perm waren noch die südlichen Festländer mit Afrika zu einem zusammenhängenden Kontinentalblock verschmolzen, durch dessen Mitte der Pol hindurchwanderte, so die Spuren einer Eiszeit auf jetzt weit auseinanderliegenden Räumen zurücklassend. Ebenso wie im Norden die diluviale, so war auch diese permokarbonische Eiszeit wahrscheinlich im Westen früher als im Osten. Der Aequator lag damals über Mitteleuropa.

In der darauffolgenden langen Zeit bis zum Eozän lag der Aequator im vorzeitlichen Mittelmeere, der flachen Tethys, die sich von Westindien über Gibraltar zu den Molukken erstreckte und mit der »Bruchzone der Erde« zusammenfällt. Trotzdem Südafrika damals im Gebiet der Westwinde lag, war es, wegen des vorgelagerten Südamerikas, meist so trocken wie Mittelasien, und erst, als im Quartär der Aequator etwa bis Loango vordrang, bekam die Kalahari eine heissfeuchte Periode mit Lateritbildung. Die Inselberglandschaften, die von der Sahara bis zum Kapland Afrika das Gepräge geben, sind nach Passarge Erzeugnisse der Winderosion im Wüstenklima. Auch in Zentralasien, Australien und Südamerika erheben sich solche »Zeugenberge« vielfach aus gleichsam glattgehobelten Ebenen. In Aegypten lebte dagegen im Eozän, in der Nähe des Aequators, eine reiche Tierwelt von Proboszidiern, Hyracoiden und Anthracotherien, die später durch die von Norden andringende Wüste ersetzt wurden, als der Aequator sich südwärts verlegte. In den Eiszeiten gelangte sodann Nordafrika in den nördlichen Regengürtel, aber in den Interglazialzeiten, und dann nach der letzten Eiszeit, verschob sich die Nordgrenze des Trockengürtels wieder nordwärts.

Die (an der Entwicklung der organischen Welt gemessen) schnellen Schwankungen der Pole während der Quartärzeit werden uns vielleicht nötigen, weit verwickeltere Breitenänderungen auch für die älteren Zeiten anzunehmen, als aus den Klimaänderungen bisher erkennbar geworden sind. Aenderungen von 20 Breitengraden sind eben in der Tropenzone von geringer Wirkung auf die Temperatur; in den Niederschlägen dagegen sind dort oft auch viel geringere Aenderungen entscheidend.

Genaueres über alle diese Fragen findet man im eingangs genannten Buche von A. Wegener und in zwei Aufsätzen von mir in Petermanns Mitteilungen 1921.

Was sind nun die *Ursachen* dieser Bewegungen? Im Jahre 1918 musste ich sie noch als unbekannt bezeichnen. Es scheint aber, dass man sich gegenwärtig bedeutend bestimmter darüber aussprechen darf.

Die Natur der Polwanderungen hat Schiaparelli schon 1889 in einer kleinen Schrift dargelegt, die als Festschrift zum 50-jährigen Jubiläum der Pulkowo-Sternwarte erschien (s. S. 286). Sie behandelt das Verhalten der drei erwähnten Erdachsen zu einander bei einer Verlegung der Trägheitsaxe in den Fällen der absoluten Starrheit, der sofortigen Anpassung und der verzögerten Anpassung der Sphäroidform der Erde. Bei der verzögerten Anpassung, wie sie einem zähflüssigen Zustand entspricht, bleibt bei einer Verschiebung des Trägheitspols der Ellipsoidpol zunächst liegen, während der Drehungspol ersterem auf einer Cykloide folgt, als ob die Erde ein völlig starrer Körper sei. Erreicht aber der Abstand zwischen Drehungs- und Ellipsoidpol einen Wert  $k$ , der von der Zähigkeit abhängt, so tritt Anpassung der Form ein und der Ellipsoidpol wird nun von den beiden andern

Polen unbeschränkt nachgeschleppt, immer im Höchstabstand  $k$  vom Drehungspol. Dadurch, dass der Ellipsoidpol folgt, werden die beiden andern frei und ihre Bewegung unbeschränkt. Die Grösse  $k$  lässt sich freilich gegenwärtig noch nicht berechnen.

Die Verschiebung des Trägheitspols selbst, die den Vorgang leitet, geschieht nun vor Allem durch die Ortsveränderungen der Kontinentalblöcke. Zwar bewirken diese, da sie fast isostatisch verlaufen, nur geringe Aenderungen in der horizontalen Massenverteilung, aber wegen der ungleichen Dichte der Massen entstehen dabei doch Aenderungen in den Drehungsmomenten, da deren Abstand von der Drehungsaxe sich ändert. Denn der Schwerpunkt einer Kontinental-scholle liegt durchschnittlich  $2\frac{1}{2}$  km höher als der des von ihr verdrängten schweren barysphärischen oder Sima-Materials, in dem sie schwimmt. Mit diesem letzteren Punkte fällt der Angriffspunkt des Auftriebs zusammen, während der des Gewichts des Schwimmkörpers in seinem Schwerpunkt, also in diesem Fall  $2\frac{1}{2}$  km höher liegt. Die Richtung der Schwere muss sich aber mit zunehmender Tiefe etwas ändern, ganz abgesehen von allen Unregelmässigkeiten. Denn die Richtung der Schwere ist die Resultierende aus der Anziehungskraft der Erde und der Zentrifugalkraft der Erdumdrehung. Die erstere nimmt mit der Tiefe bis zu mehr als 1000 km Tiefe zu, die letztere dagegen mit Annäherung an die Erdaxe ab. Die Niveauflächen, zu denen ja die Schwere normal steht, sind also um so weniger abgeplattet, je näher sie dem Erdmittelpunkt sind, und die Kraftlinien der Schwere sind, ausser am Aequator und an den Polen, nicht gerade, sondern gekrümmte, gegen die Pole konkave Linien. Beides möge durch die Figur 3 veranschaulicht sein.

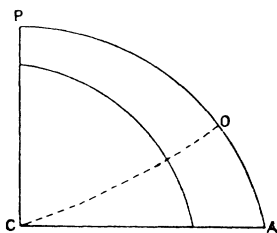


Fig. 3. Niveauflächen und Kraftlinien der Schwere.  
— P Pol, A Aequator, C Erdzentrum, O Ort.

Ist also  $g$  (Fig. 4) das Gewicht des schwimmenden Körpers, so ist er im vertikalen Gleichgewicht, wenn dem eine gleiche und entgegengesetzt gerichtete Komponente  $A$  des Auftriebs entgegenwirkt. Da nun aber die Richtung des tatsächlichen Auftriebs  $A^1$  mit  $g$  einen Winkel bildet, so heben sich die beiden Kräfte nicht auf, sondern geben sie eine kleine horizontale zum Aequator gerichtete Resultante  $m$ .

Diese zum Aequator gerichtete Komponente des Auftriebs<sup>1</sup> kommt, streng genommen, allen schwimmenden Körpern zu, deren Schwerpunkt *über* demjenigen der verdrängten Flüssigkeit liegt, so dass das Archimedische Prinzip auf der rotierenden Erde nur am Aequator und an den Polen genau gilt. Aber bis jetzt kamen Schwimmkörper von solcher Grösse nicht in Betracht. Die

<sup>1</sup> Die Existenz dieser Kraft ist kurz aber unzweideutig von Baron Eötvös bereits 1912 auf der Konferenz der Internationalen Erdmessung angedeutet worden.

Kraft wirkt fortdauernd auf die ganzen Kontinentalblöcke und auf alle ihre Teile. Eine Berechnung ist wohl für ihre Grösse<sup>1</sup>, aber noch nicht für ihre Wirkung möglich, weil wir den Betrag der Reibung noch nicht kennen, der der Bewegung entgegensteht. Tritt aber auch nur die langsamste Bewegung ein, so bekommen, da die Kraft dauernd wirkt und die bewegten Massen ungeheuer gross sind, diese eine Wucht, für die alle Vorgänge der Gebirgsbildung Kleinigkeiten sind.

Die Befunde der Erdgeschichte, wie sie uns Wegener namentlich in dieser 2. Auflage gedeutet hat, bestätigen das Vorhandensein dieser *Polflucht* der Kontinentalschollen durchaus. Daneben aber zeigt sich eine Tendenz zu deren Westwärtsbewegung. Ob diese ganz der Gezeitenreibung zuzuschreiben ist, oder ob die Polflucht selbst analog den Bewegungen der Luft und des Meeres, durch die Erdrotation eine Ablenkung nach rechts auf der N-, nach links auf der S-Halbkugel erfährt, muss noch offen bleiben. Die grosse Reibung, unter der sie stattfindet, lässt eine merkbare Ablenkung unwahrscheinlich erscheinen. Es ist aber möglich, dass man bei einer strengeren Behandlung des Problems unter den von Ekman für die Meeresströmungen eingeführten Gesichtspunkten doch zu einer solchen Ablenkung gelangen würde.

Der *seitliche Schub*, den A. Wegener für die Kontinentalschollen neu in die Wissenschaft einführt, ist ja schon seit bald einem Jahrhundert als *Hauptursache für die Gebirgsfaltung* anerkannt. Als Ort für diese erweist sich jetzt hauptsächlich der Aequator, gegen den die Schollen von beiden Seiten in entgegengesetzter Richtung gepresst werden — so entstanden längs dem alten Karbon- bis Tertiär-Aequator Atlas, Pyrenäen, Alpen, Balkan, Kaukasus, Himalaya u. s. w. — die bekannte Bruchzone der Erde, die aber bezeichnender Weise nicht auf die Tiefsee übergreift. Die andere ebenso junge Gebirgskette, die Kordilleren, ist am Vorderrand der nach SW bis NW vorrückenden amerikanischen Doppelscholle entstanden, nach der Aufspaltung des Atlantischen Ozeans, die im S schon in der Kreide begann und im N erst während der Eiszeit schloss.

Wir sehen also die Verschiebung der Kontinente Verlegungen der Pole erzeugen und andererseits die Lage der Pole die Bewegungsrichtung der Kontinentalblöcke und das Maass ihrer Meeresbedeckung bestimmen. Beide zusammen be-

<sup>1</sup> Der durchschnittliche Vertikalabstand des Schwerpunkts der Kontinentalscholle von ihrem Auftriebspunkt ist 2,2 km, wenn die Dichtezunahme mit der Tiefe in beiden gleichgesetzt wird. Dann ist die Schwere im Auftriebspunkt um etwa  $\frac{2,2}{1,145} \times 0,05 = 0,1$  Promille grösser und die Zentrifugalkraft um etwa  $\frac{2,2}{6360} = 0,35$  Promille kleiner, als im Schwerpunkt der Scholle.

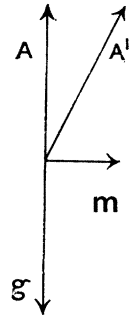


Fig. 4. Polflucht schwimmender Massen. g Gewicht, A Auftrieb, m meridionale Kraft-Resultierende.

wirken die Lage der Klimate und der Gebirge auf der Erde und bilden so eine grossartige Kette von Ursachen und Wirkungen.

Was sind nun wohl die für die Entscheidung dieser Fragen wichtigsten weiteren Bestimmungen?

A. Für die *Polwanderungen* liegen sie in der Paläontologie und Klimageschichte solcher Gebiete, die in der Nähe der Meridiane von Europa in etwa  $\frac{1}{4}$  des Erdumfangs Abstand davon liegen oder gelegen haben. Denn diese müssen bei Polwanderungen gleichzeitig entgegengesetzte Breitenänderungen durchgemacht haben.

B. Für die *Kontinenten-Verschiebungen* ist der entscheidendste Nachweis von genauen Ortsbestimmungen in den Gebieten zu erwarten, für welche die stärksten Anzeichen von Aenderungen aus der jüngsten geologischen Vergangenheit vorliegen. Das sind nach Wegener die Abstände Grönlands von Europa einerseits, Labrador anderseits, die in den letzten 100,000 Jahren eine jährliche Aenderung von 8 bis 36 m gezeigt haben und von denen es also sehr wahrscheinlich ist, dass eine ähnliche Aenderung auch jetzt sich nachweisen liesse.

C. Für den *Zusammenhang beider Bewegungen* A und B würde der Nachweis in einer Durchrechnung der Momentensummen der Erdkruste liegen bei möglichst vielen Verteilungen der Kontinentalblöcke (ohne den Aequatorwulst), des Gefälles dieser Summen und seiner Aenderung während der angenommenen Verschiebungen. Diese Berechnungen sind sehr umständlich; aber schon die genaue Betrachtung einiger idealer, den wirklichen ähnlicher Fälle kann die Frage erheblich fördern.

Hier kann ich nur auf die erste Gruppe dieser Bestimmungen zum Schluss etwas näher eingehen.

Es ist klar, dass während einer Ortsveränderung der Pole auf beiden Erdquadranten, die *vor* ihnen liegen, die geographischen Breiten wachsen, auf den beiden andern, in der Bewegung *hinter* ihnen liegenden, die Breiten abnehmen. Diese Aenderung ist am grössten auf demjenigen Meridiankreis, mit dem die augenblickliche Polbahn zusammenfällt (Reibisch's Schwingungskreis), rechts und links davon nimmt sie ab und wird 90 Längengrade von diesem Meridian null.

Dem am besten festgestellten Klimawechsel, dem grossen Ab und Auf der Temperatur in Europa vom Eozän zur Eiszeit und zur Gegenwart, muss also zwar im Antipoden-Quadranten ein gleicher, auf den beiden andern Quadranten aber ein entgegengesetzter Klimawechsel, ein Auf und Ab in derselben Zeit entsprechen haben. Einen solchen müssen wir einerseits in Patagonien suchen, das damals wahrscheinlich östlicher lag, andererseits im Nordosten Asiens. Die Geologie Südamerikas ist noch so strittig und die Gleichzeitigkeit seiner Formationen mit denen Europas wegen seiner abweichenden Organismenwelt so schwer be-

weisbar, dass es vorläufig ausser Betracht bleiben mag. Viel klarer liegt die Sache auf der Nordhalbkugel, wo wir es grossenteils mit denselben Arten zu tun haben wie in Europa.

Nach der Untersuchung der fossilen Flora von Japan hat A. G. Nathorst schon im J. 1888 ausgesprochen, dass Japan in der Miozänzeit kälter war als jetzt und hat er aus der gleichzeitigen Wärme Grönlands geschlossen, dass der Nordpol damals Japan um 20 Breitengrade näher lag als jetzt.

Spuren einer Eiszeit im Quartär scheinen in Japan zu fehlen. Auf den Neusibirischen Inseln aber und an der benachbarten Küste Sibiriens, wo jetzt nur zollhohe Polarweiden wachsen, wuchsen zur Mammut-Zeit hochstämmige Birken (*Betula alba*) und Erlen (*Alnus fruticosa*) und herrschte ein reiches Tierleben nicht nur von Mammuten, wollhaarigen Nashörnern und Moschusochsen, sondern auch von Pferden, Edelhirschen, Saiga-Antilopen und sogar Tigern<sup>1</sup>. Diese Zeit war dort also bedeutend wärmer, als die Gegenwart; sie war aber auch viel wärmer, als eine vorhergehende Zeit, denn diese Reste liegen (z. T. in erstaunlichen Mengen) in einer Erdschicht, unter der eine bis zu 20 und mehr Meter dicke Eismasse ruht. Dieses »Steineis« reicht an vielen Stellen bis unter den Meeresspiegel, an einigen aber lässt sich Grundmoräne unter ihm feststellen.

Die Ablagerungen aus der Mammutzeit, die auf dem Steineise liegen, werden von Toll und seinen Begleitern für entschieden jünger als dieses erklärt; die Mammute liegen nie im Eise, sondern im gefrorenen Boden über ihm, der gegenwärtig im Sommer nicht tiefer als 15 cm auftaut. Nach oben, und teilweise auch nach unten, geht die Schicht mit den reichen Tier- und Waldresten in Torflager mit ärmlicher Vegetation von Moosen und Zwergbirken über; in dem oberen sind die Mammutreste selten.

Neben diesen quartären Fossilien finden sich auf den Neusibirischen Inseln Braunkohlenlager, deren Verhältnis zum Steineise zwar nicht direkt erkennbar zu sein scheint, die aber nach den sehr gut erhaltenen Pflanzenabdrücken bedeutend älter sind. Die zahlreichen Früchte von *Sequoia Langsdorffii*, die grossen Blätter von *Populus arctica* und *P. Richardsoni* und Nadeln von *Taxodium distichum* mioc. und *Taxites tenuifolius* schliessen eine Nähe des Pols aus. Wenn diese Reste miozän sind, wofür Schmalhausen und Toll sie erklären, so fallen damit die auf der Gesamtheit der übrigen Fundorte begründeten Annahmen von Neumayr und Nathorst über die Pollage im Miozän; denn nach diesen hätten die

<sup>1</sup> Vergl. E. v. Toll: Die russ. Polarfahrt der Sarja 1900—02 (Berlin 1909) und dessen frühere Abhandlungen in den Memoiren der Petersburger Akademie, VII Serie, Bd 42 und VIII Ser., Bd 9. — Rentier und Wolf sind erst später auf den Inseln eingewandert, vergl. Toll, Polarfahrt S. 537, auch die Knochen von Pferden und Moschusochsen werden »vorzugsweise aus den oberen Horizonten herausgespült, die *Salix* sp. und *Betula nana* enthalten« (ebenda S. 618 u. 619). Über das »Bodeneis« Sibiriens besteht häufig Unklarheit; Toll unterscheidet aber ganz klar zwischen gefrorenem Boden und dem wirklichen Eise, das nur stellenweise Einschlüsse von Sand und Lehm enthält.

Neusibirischen Inseln damals auf  $85^{\circ}$  N gelegen; nach Wegeners Annahme im Miozän etwa auf  $75^{\circ}$  N, aber im Eozän auf etwa  $55^{\circ}$  N<sup>1</sup>; da nun Sequoia Langsdorffi ebenso charakteristisch für Eozän, wie für Miozän ist, so darf man wahrscheinlich diese Ablagerungen als eozän ansehen und das Steineis dieser Inseln als miozän. Unter diesen Voraussetzungen ist die untenstehende Figur entworfen, die den säkularen Gang der Temperatur<sup>2</sup> durch vier Stufen veranschaulicht — Taxodium als Vertreter der warmgemässigten Zone genommen.

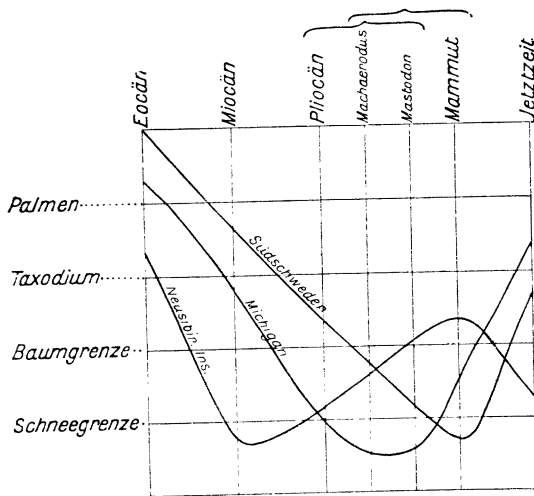


Fig. 5. Wärmeänderung seit dem Eocän.

bedingt sind; im ersteren Falle müssten sie abwechselnd, im letzteren gleichzeitig auftreten<sup>3</sup>. Dass solche kürzeren Klimaschwankungen nicht auf Europa und nicht aufs Quartär beschränkt sind, ist an sich sehr wahrscheinlich.

Obwohl die fossilen Eislager der Neusibirischen Inseln weit schwächer sind, als das grönländische Binneneis, müssen sie in sehr niedrigen Temperaturen, also wohl grosser Polnähe, entstanden sein, weil sie sich ohne Gebirge und am Meeresspiegel bildeten. Sobald sie tief genug mit Erde bedeckt waren, dass sie aus dem Bereich der Sommerwärme und in einer konstanten Temperatur unter dem Gefrierpunkt lagen, war ihre unbegrenzte Erhaltung gesichert. Erst mit der späteren Zerstückelung der Inselgruppe und der Blosslegung der Eisklippen begann ihre fortschreitende Zerstörung. Die Lufttemperatur in der Mammutzeit auf den Neusibirischen Inseln ist damit in gewissen Grenzen festgelegt. Sie lag im wärm-

<sup>1</sup> In der Kreide sogar auf nur  $48^{\circ}$  N. Die Stauchung Asiens im Neogen erfolgte aus Nordost und konnte an diesen Zahlen nichts Wesentliches ändern.

<sup>2</sup> Hauptsächlich der Sommertemperatur.

<sup>3</sup> S. oben S. 288. In Zeiten geringer Schiefe der Ekliptik müssen die höheren Breiten erheblich weniger, aber der Aequator etwas mehr Sonnenwärme bekommen und der horizontale Kreislauf der Atmosphäre verstärkt sein.

sten Monat über  $10^{\circ}$  und im Jahresmittel unter  $-2^{\circ}$ , also im kältesten Monat unter  $-14^{\circ}$ , vielleicht tief darunter; das sind Temperaturen, wie sie im Innern von Sibirien östlich vom Jenissej herrschen. Die entsprechenden Zahlen für diese Inseln sind gegenwärtig: Juli  $3^{\circ}$ , Jahr  $-17^{\circ}$ .

Ebensolches fossiles Eis findet sich im NW von Alaska, von Point Barrow bis zum Kotzebue-Sund, und ist von Dall untersucht worden<sup>1</sup>. Auf der deckenden Erdschicht wächst hier teilweise hochstämmiger Wald, wie übrigens auch östlich der Janamündung.

Unsere Figur enthält noch eine dritte Kurve, die den Wärmegang in Nordamerika darstellt. Da in den glazialen Ablagerungen Nordamerikas eine Reihe von Tieren sich findet, die in Europa mit dem Schluss des Pliocäns verschwinden, fallen die Eiszeiten Amerikas wahrscheinlich früher, als diejenigen Europas. Von den drei Hauptfaunen, die im Nordamerikanischen Diluvium unterschieden werden, enthält nur die letzte das Mammut<sup>2</sup>. Die beiden älteren sind in unserer Figur durch Machaerodus und Mastodon charakterisiert, die in Europa vor der Eiszeit ausgestorben sind.

Die drei Kurven führen uns eine Wanderung des Nordpols von Ostasien über Nordamerika nach Europa vor Augen, die wir durch folgende ungefähre Lagen desselben in der Mitte von vier grossen Zeitabschnitten, dem jetzigen Gradnetz nach, ausdrücken können:

	Eocän	Miocän	Pliocän	Quartär
Nord-Breite .....	$45^{\circ}$	$71^{\circ}$	$72^{\circ}$	$75^{\circ}$
West-Länge.....	$180^{\circ}$	$180^{\circ}$	$70^{\circ}$	$10^{\circ}$

Die Zahlen weichen etwas von denjenigen Wegeners ab, wegen stärkerer Berücksichtigung der Befunde von den Neusibirischen Inseln und von Nordamerika.

<sup>1</sup> Vergl. darüber Kreichgauer, Die Aequatorfrage in der Geologie, S. 340, und Hann, Handbuch der Klimatologie, III, S. 650.

<sup>2</sup> E. Kayser, Abriss der Geologie (1915), S. 366.