



Anmälanden och kritiker.

AXEL BLYTT. *Kurze Uebersicht meiner Hypothese von der geologischen Zeitrechnung.*

Die Frage nach der geologischen Zeitrechnung ist nur durch ein Zusammenwirken der verschiedenen Zweigen der Naturwissenschaften zu lösen. Im Folgenden soll eine kurze Uebersicht über meine Hypothese von der Zeitrechnung gegeben werden. Ich gebe willig zu, dass meine Anschauungen in vielen Stücken sehr hypothetisch sind, und dass unsere Kenntnisse vielleicht noch zu gering sind, um eine Lösung der Frage zu erlauben. Es scheint mir aber, dass meine Hypothese von den Naturforschern geprüft zu werden verdient. Diejenigen, die daran Interesse haben, werden sich mit meinen Anschauungen näher bekannt machen können, wenn sie die Originalabhandlungen lesen. Ich gebe hier zwei Verzeichnisse solcher Abhandlungen. Das erste umfasst die deutschen und englischen, das zweite die norwegischen. Die ersten sind grösstentheils nur Uebersetzungen von den norwegisch geschriebenen. Man sollte die Abhandlungen in derselben Ordnung lesen, als sie hier angeführt sind.

Litteraturverzeichniss:

Essay on the Immigration of the Norwegian Flora during alternating rainy and dry periods (with a coloured map of Norway). Christiania 1876.

Die Theorie der wechselnden kontinentalen und insularen Klimate. Mit Tafel. (ENGLER'S Botau. Jahrb. II, 1—2) Lpz. 1881.

Referat über HULT: Mossfloran i trakten mellan Aavasaksa och Pallastunturi in ENGLER'S Bot. Jahrb. VIII, Litteraturbericht, P. 1.

Ueber Wechsellagerung und deren mutmassliche Bedeutung für die Zeitrechnung der Geologie und für die Lehre von der Veränderung der Arten. (Biologisches Centralblatt III, N. 14—15. S. 418). Erlangen 1883.

Ueber die wahrscheinliche Ursache der periodischen Veränderungen in der Stärke der Meeresströmungen. (Biol. Centralbl. IV, N. 2, S. 33). Erlangen 1884.

The probable Cause of the Displacement of Beach-lines. An attempt to compute geological epochs. With two additional notes and a table. (Christiania Vid. Selsk. Forh. 1889. N. 1).

Forsög til en Theori om Indvandringen af Norges Flora under vekslende regnfulde og tørre Tider (Nyt Mag. f. Naturv. XXI). Christiania 1876.

Iagttagelser over det sydøstlige Norges Torvmyre. (Christiania Vid. Selsk. Forh. 1882. N 6).

Theorien om veksellende kontinentale og insulære Klimater anvendt paa Norges Stigning. (Christiania Vid. Selsk. Forh. 1881. N 4).

Om veksellagrang og dens mulige betydning for tidsregningen i geologien og læren om arternes forandringer (Christiania Vid. Selsk. Forh. 1883. N 9).

Om den sandsynlige årsag til den periodiske ændring af havstrømmenes styrke. (Arch. f. Math. og Naturv. IX. S. 23). Christiania 1884.

Om den sandsynlige årsag til strandliniernes forskyvning, et forsög på en geologisk tidsregning. (Nyt Mag. f. Natv. XXXI. S. 240—297, s. 324—339. Med en planche). Christiania 1889.

Durch alle geologischen Schichtenreihen hindurch finden wir einen stetigen Wechsel der Gebirgsarten. Wir lernen aus diesem Wechsel erstens, dass das Verhältniss zwischen Meer und Land zu allen Zeiten periodischen Aenderungen unterworfen gewesen ist. Und diese bald negativen bald positiven Verschiebungen der Strandlinien setzen uns in den Stand die Schichtenreihen in Formationen, die Formationen in Stufen zu gliedern, je nachdem die Verschiebungen grösser oder kleiner waren und je nachdem die durch die Verschiebungen verursachten Lücken in den Reihen längeren oder kürzeren Zeiträumen entsprechen. In den verschiedenen Stufen finden wir aber ausserdem, und in allen geologischen Formationen, einen Wechsel anderer Art, der sich besonders in einem Wechsel von mechanischen und chemischen Sedimenten kundgibt und darauf hindeutet, dass die abgelagerten Strömungen bald stärker, bald schwächer gewesen sind. Die Schichtenreihen aller geologischen Zeiten sind somit unter periodisch wechselnden Verhältnissen gebildet, und wir können zwei solche Perioden unterscheiden, eine von längerer Dauer, die in den Verschiebungen der Strandlinien ihren Ausdruck findet, und eine kürzere, die sich in der wechselnden Stärke der Strömungen spiegelt.

In diesen beiden Perioden liegt nun nach meiner Ueberzeugung der Schlüssel für die Zeitrechnung der Geologie.

Wir wollen zuerst eine kurze Uebersicht über die Thatsachen geben, auf welchen meine Theorie vom Klimawechsel in langen Perioden sich gründet. Dieselbe behauptet folgendes:

1. Zu allen Zeiten ist das Klima periodischen Schwankungen unterworfen gewesen, und die Dauer dieser Perioden rechnet nach Jahrtausenden.

2. Die Aenderungen, von welchen hier die Rede ist, hatten keinen besonders grossen Umfang; sie waren keine tiefgreifenden, vollzogen sich aber innerhalb grösserer klimatischen Provinzen in der-

selben Richtung und sind demgemäss auch auf Ursachen von allgemeiner Wirkung zurückzuführen.

3. Nach den Indizien, welche die Periode in den Torfmooren und an anderen Orten hinterlassen hat, ist man zu der Annahme berechtigt, dass dieselbe nach Verlauf einer bestimmten Zeit einigermassen regelmässig zurückkehrt.

Diese Theorie stützt sich auf eine ganze Reihe von einander unabhängiger Beobachtungen und Thatsachen, welche alle leicht und natürlich aus derselben sich erklären lassen.

Diese Thatsachen sind folgende:

1. Die Lücken in der jetzigen Verbreitung sowohl der kontinentalen als der insularen Pflanzen (und Thieren). Nicht nur einzelne Arten, sondern ganze Gruppen von Arten haben ein zerstreutes Vorkommen. Und die Lücken in der Verbreitung sind so gross, dass dieselben sich kaum anders als durch klimatische Aenderungen erklären lassen; die Erklärung wird durch fossile Pflanzen und Thierarten bestätigt.¹⁾

2. Die von der Eiszeit hinterlassenen Moränen ordnen sich (sowohl im südlichen Norwegen als in anderen früher eisbedeckten Ländern) in hinter einander gelegenen Reihen. Diese Moränenreihen erstrecken sich über grosse Theile der Länder und bezeichnen die Oscillationen im Rückzug des Eises. Solche Oscillationen lassen sich allein durch allgemeine periodische Aenderungen des Klimas erklären.

3. Die ältesten norwegischen Torfmoore sind aufgebaut aus vier Torfschichten, häufig mit drei eingelagerten Schichten von Stammresten und Baumwurzeln. Eben dieselben wechselnden Schichten (auch in gleicher Anzahl) findet man sowohl in Schweden als in Dänemark und anderswo. Ihr Auftreten ist dasjenige von geologischen Unterstufen, und sie sind in begrenzten Gebieten (z. B. im südlichen Norwegen und Dänemark) durch bestimmte Fossilien charakterisirt. Torfbildung findet in der Gegenwart bei uns nur in den feuchtesten Mooren statt. Sie war in der Vorzeit viel allgemeiner. In Dänemark und Schottland ist (nach J. STENSTRUP und J. ΓΕΙΚΙΣ) dasselbe der Fall. Die Moore des südlichen Norwegens sind in unseren Tagen trockner als sie in der nächsten Vorzeit gewesen sind, und da dies eine durchgehende Regel ist, lassen die Wechsel von Torf und Waldresten sich nicht durch lokale Aenderungen der Feuchtigkeit erklären; denn wären lokale Ursachen hier bestimmend, so müssten ja doch auch manche Torfmoore sich jetzt feuchter zeigen als früher. Die Bohrungen zeigen aber, dass dies nicht der Fall ist.²⁾

4. Während des postglacialen Aufsteigens der Länder unter höheren Breiten bildeten sich an den Küsten Muschelbänke, an den

¹⁾ Cf. A. BLYTT: *Essay on the Immigration of the Norwegian Flora etc.* (Norwegisch in *Nyt Mag. f. Natv.* XXI). ENGLER'S Bot. Jahrbücher II.

²⁾ S. ENGLER'S *Jahrb.* I. c. und *Chria. Vid. Selsk. Forh.* 1882, n. 6. Für andere Gegenden in Schweden und Finland ist HULT (*Acta Soc. pro fauna et flora Fenn.* III, 1 und anderswo), für das Ostbalticum KLINGE (*ENGL. Jahrb.* XI, p. 291) zu ähnlichen Ergebnissen gekommen.

Flussmündungen Terrassen aus losem Material und im Innern der Fjorde im festen Fels ausgehöhlte Strandlinien. Diese Andeutungen älterer Meeresniveaus treten in Stufen auf, die man durch die Annahme von Pausen im Aufsteigen hat erklären wollen. Jene Stufen liegen aber selbst in benachbarten Gegenden in verschiedener Höhe und keine Erklärung dürfte besser alle Schwierigkeiten lösen, als die Theorie der klimatischen Wandlungen. Während des Aufsteigens waren die Verhältnisse der Bildung von Terrassen, Muschelbänken und Strandlinien bald günstig, bald ungünstig. Das Transportvermögen der Flüsse variierte, darum bilden die Terrassen eine Stufenreihe. Die norwegischen Strandlinien können nicht durch die Brandung der Meereswellen gebildet sein, denn dieselben fehlen gewöhnlich draussen am offenen Meer: ihre Entstehung während der stetigen Hebung des Landes haben wir vielmehr darauf zurückzuführen, dass die Kälte in den strengeren Wintern der kontinentalen Perioden stark genug war, um unter dem wechselnden Spiel von Ebbe und Flut durch das Sprengvermögen des Frostes hie und da im Innern der Fjorden eine Strandlinie in den Uferklippen auszuhöhlen. In solchen strengen Wintern bildete sich ebenfalls im Innern der Fjorden Eis, so dass die Muschelbänke während des Aufsteigens zerstört wurden.

Auch die Alpenthäler haben sowohl in Norwegen als anderswo ihre Terrassen. Diese Terrassen sind nicht marine Bildungen. Ihre Erklärung sucht PENCK in derselben Theorie vom Klimawechsel, indem er annimmt, dass Zeiten der Thalzuschüttung mit Zeiten der Erosion wechselten.¹⁾

5. Durch alle geologischen Formationen hindurch läuft die Erscheinung der Wechsellagerung von verschiedenen Sedimenten. Die Schichten sind zum grössten Theil in der Nähe des Landes abgelagert, so dass Aenderungen in der Regenmenge und der von dieser abhängigen Grösse und Transportvermögen der Flüsse sich in der Beschaffenheit derselben muss abspiegeln können. Und der hier besprochene Schichtenwechsel, besonders der Wechsel von mechanischen und chemischen Sedimenten, muss in einem Wechsel in der Stärke der abgelagernden Strömungen seinen Grund haben. Der rasche Wechsel

¹⁾ S. A. BLYTT in ENGLER'S Jahrb. II (1881). PENCK in »Humboldt« April 1884, p. 121 ff. Diese von mir in 1881 gegebene Erklärung der alten Strandlinien hat durch die Untersuchungen TROULET'S eine schöne Bestätigung gefunden: »Für die Küste Neufundlands und der umliegenden Länder ist hauptsächlich der Frost in Verbindung mit den Tiden das gestaltende Element; das entscheidende Moment liegt darin, dass das Wasser zur Zeit der Flut in das Gestein eindringt, zur Ebbezeit gefriert und das Gestein lockert, worauf bei Flut Abspülung der Trümmer und tieferes Eindringen des Wassers erfolgt« (Cf. SUPAN in PETERMANN'S Geogr. Mitth. 1888, Bd 34, 1, Literaturber. p. 11). SUESS (Antl. d. Erde II) ist der Meinung, dass alle Strandlinien in glacialen Binnenseen, die durch Gletscher aufgedämmt waren, gebildet wurden. Es ist aber überflüssig, solche Dämme anzunehmen, wo, wie die Muschelbänke beweisen, der alte Meeresspiegel zu Verfügung stand. Und alle Verhältnisse, die nach SUESS (l. c. p. 442 ff.) gegen die marine Bildung unserer tiefliegenden Strandlinien sprechen sollen, sind leicht erklärbar durch meine Theorie der Strandlinien, wenn man noch dazu bedenkt, dass die Hebung kaum überall gleichmässig vor sich ging.

der Fossilien in einer zusammenhängenden Schichtenreihe von nur geringer Mächtigkeit beweist, dass dünne Schichten lange Zeiten repräsentiren. Auf einen durch eine bestimmte geologische Fauna oder Flora charakterisirten Horizont fallen in der Regel nur wenig Wechsellagerungen, ja jede Schicht hat häufig ihre eigenartigen Fossilien. So haben die Etagen der Europäischen Tertiärformation gewöhnlich nur 4--5 solche Wechsellagerungen, und die Zahl der Wechsellagerungen ist auch für ganze Epochen keine grosse. Die oligocäne Schichtenreihe zeigt im ganzen kaum 30, die miocäne und pliocäne noch weniger. Ich sehe deshalb in dieser Wechsellagerung eine Stütze für meine Theorie der wechselnden klimatischen Perioden.¹⁾

Es giebt zwar auch andere mehr örtliche und vorübergehende Aenderungen der Verhältnisse, die eine Wechsellagerung veranlassen können. Aber solche Wechsellagerungen bildeten sich nur an Orten, wo die Zufuhr reichlich war, z. B. in der unmittelbaren Nähe der Flussmündungen. Solche Ablagerungen werden deshalb aber auch bei den stetigen Verschiebungen der Strandlinien der Zerstörung besonders ausgesetzt sein. Wo ein grosser Strom viel Material hinausführt, werden sich mächtige Schichten in kurzer Zeit bilden können; wenn aber diese Schichten über das Meer gehoben werden, sind sie durch ebendenselben Strom, der sie gebildet, einer raschen Zerstörung ausgesetzt. Langsam gebildete Schichten, welche in weiterer Entfernung von den Flussmündungen und ferne vom Lande abgelagert wurden, haben bedeutend grössere Aussicht auf Erhaltung für spätere Zeiten. Es ist demgemäss nur eine wahrscheinliche Annahme, dass es besonders derartig langsam gebildete Schichten sind, aus welchen die Hauptmasse der geologischen Schichtenreihen sich aufbaut.

Fragen wir nun nach der wahrscheinlichen Ursache dieser periodischen Klimawandlungen, so haben wir zuerst die allgemeinen Gesetze der Klimatologie ins Auge zu fassen.²⁾

Die winterliche Abkühlung in höheren Breiten verursacht hohen Luftdruck über den Festlanden. Dieser hohe Luftdruck giebt den wesentlichsten Grund ab für die Andauer eines niedrigen Luftdruckes über den weniger abgekühlten Meeren. Denn die Luft strömt in den höheren Schichten der Athmosphäre nach den abgekühlten Gegenden hin, um den durch den niedersteigenden Luftstrom entstehenden Verlust auszugleichen, und diese Luft kommt von dem wärmeren Meere her. Ueber dem Meere bildet sich demgemäss im Winter ein niedriger Luftdruck.

Der niedrige Luftdruck bei Island hält sich, vielleicht infolge der grossen isländischen Gletscher, auch den Sommer über, wenn gleich minder ausgeprägt, als während des Winters. Dieser niedrige Luftdruck bedingt aber das Vorherrschen südwestlicher Winde im

¹⁾ S. A. BLYTT: Ueber Wechsellagerung etc. Biol. Centralbl. 1883. (Norwegisch in Christiania Vid. Selsk. Forh. 1883, n. 9.)

²⁾ A. BLYTT: Ueber die wahrscheinliche Ursache der periodischen Veränderungen etc. Biol. Centralbl. IV. (Norwegisch in Arch. f. Math. u. Naturv. Christiania 1884).

nordatlantischen Meere und im westlichen Europa die ganze Dauer des Jahres hindurch.

Die Winde sind nun aber, wie CROLL und ZÖPPRITZ nachgewiesen haben, die eigentliche Treibkraft der Meeresströmungen. Der Hauptstrom folgt die Richtung des herrschenden Windes, und seine Stärke und Geschwindigkeit ist abhängig von der mittleren Geschwindigkeit der Oberfläche im letzten grossen Zeitabschnitt. Der warme nordatlantische Strom fliesst demgemäss in derselben Richtung, wie die herrschenden Südwestwinde, denen er seine Entstehung verdankt. Da dieser warme Meeresstrom ja aber als die Hauptursache für das milde Klima Westeuropas anerkannt wird, haben wir unzweifelhaft Recht auszusprechen, dass die Abkühlung der grossen Kontinente eigentlich die Ursache ist, der wir unsere milden Winter verdanken.

Die mittlere jährliche Stärke der Südwestwinde ist aber unzweifelhaft im Laufe der Zeiten periodisch veränderlich. Mit der Präcession der Äquinoclien hängt nämlich eine Schwankung in der Dauer von Winter und Sommer auf jeder Halbkugel zusammen. In der einen Halbperiode von ungefähr 10500 Jahren ist der Winter bei uns kürzer als der Sommer (wie dies gegenwärtig der Fall ist), in der anderen Halbperiode ist er länger. Dieser Unterschied wächst mit der Zunahme der Erdbahnexcentricität. Bei der grössten Excentricität steigt der jährliche mittlere Unterschied bis auf mehr als 20 Tage und die Anzahl der überschüssenden Tage in jeder Halbperiode bis auf beinahe 220000.

Die Kräfte, welche die warmen Meeresströmungen in den mittelwarmen Meeresgebieten befördern, wirken im Winter am stärksten. Die mittlere Stärke der herrschenden Südwestwinde im Nordatlantischen Ocean ist (nach MOHN) im Winter beinahe dreimal so gross als im Sommer.

Da nun die Länge des Winters und Sommers im Lauf von 10500 Jahren schwankt, da ferner die Windstärke im Winter viel grösser ist, als im Sommer, und da endlich die Stärke der Meeresströmungen von der mittleren Windstärke im letzten grossen Zeitabschnitt abhängig ist, so kann es doch wohl nicht gleichgültig sein, ob jene Tausende von Tagen während einer 10500-jährigen Halbperiode als Ueberschuss auf den Winter oder auf den Sommer fallen. Es spricht alles dafür, dass der warme Meeresstrom im Nordatlantischen Meere zunehmen wird, wenn der Winter in die Sonnenferne fällt, dass also das nordwesteuropäische Klima in der Gegenwart etwas strenger und trockener sein muss als es in dem letzterlaufenen grösseren Zeitraum gewesen ist. Dies stimmt durchaus mit der Annahme der Theorie.

In Gegenden mit anderen Windverhältnissen, wo z. B. wie an den Ostseiten der grossen Kontinenten, während des Winters nordwestliche Winde herrschen, werden die Winter in der Sonnenferne wahrscheinlich ein etwas strengeres Klima bedingen. Es ist jedenfalls einleuchtend, dass die periodischen Aenderungen nicht überall auf derselben Halbkugel gleichzeitig dieselbe Richtung innehalten werden.

Bei Berechnung kommt man zu dem Resultate, dass die jährliche Treibkraft des warmen Meeresstromes sich um ein bis mehrere Procent vergrössern wird, wenn der Winter in die Sonnenferne fällt. Es ist höchst wahrscheinlich, dass diese Aenderung gross genug ist, um die ganze Reihe von Thatsachen zu erklären, auf welche meine Theorie der wechselnden Klimate Bezug nimmt.

Je grösser nun die Excentricität der Erdbahn ist, um so ausgesprochenener wird die durch die Präcession bedingte klimatische Periode sein. Wenn die Erdbahn sich der Kreisform nähert, wird sie beinahe unmerklich. Aber die Länge der synodischen Präcessionsperioden ist auch veränderlich. Sie variirte in der postglacialen Zeit (nach CROLL) sogar um 6400 Jahre. Es ist nun einleuchtend, dass auch solche Variationen einen Einfluss auf die klimatischen Perioden haben müssen. Je länger eine Periode mit Winter in der Sonnenferne dauert, um so mehr wird der Meeresstrom zunehmen müssen, und umso mehr wird sich das Klima ändern. Nach den Angaben der postglacialen Norwegischen Torfmoore traf z. B., nach einer solchen ungewöhnlich langen Präcessionsperiode, eine ausgesprochen milde Zeit ein, wo die jetzige Meeresfauna der Westküste Norwegens im Christianiafjorde lebte, wo sie jetzt ausgestorben ist. Und auch aus anderen Gegenden der nördlichen Hemisphäre hat man ähnliche Beweise für eine postglaciale Periode, die milder war als die Jetztzeit.

Wenn die Winter in die Sonnenferne fallen, wird somit der Unterschied zwischen Küstenklima und Kontinentalklima verschärft. Die Regenmenge, folglich auch das Transportvermögen der Flüsse, schwankt, je nachdem die Winter in die Sonnennähe oder Sonnenferne fallen. Wenn die Regenmenge steigt und die Flüsse grösser werden, werden mechanische Sedimente wie Thon, Schlamm u. dgl. an vielen Orten abgelagert, wo in trockneren Zeiten nur chemische Sedimente wie Kalk, Eisensteine u. s. w. sich bilden. Und eine solche Wechsellagerung chemischer und mechanischer Sedimente sehen wir in allen geologischen Formationen. In den infraaquatischen Bildungen sowohl des süssen als des salzigen Wassers sind die trockenen Zeiten gewöhnlich durch chemische Sedimente bezeichnet. Diese chemischen Sedimentschichten entsprechen somit den Wurzelschichten der Torfmoore, und ebenso wie diese häufig zwischen Torflagen mit verschiedenartigen Pflanzenresten scheiden, in derselben Weise sehen wir auch, dass chemisch gebildete Schichten häufig die Grenze bilden zwischen geologischen Unterstufen oder Stufen, die durch verschiedene Fossilien geschieden sind. Es ist dies nicht selten der Fall sogar mit Septarienschichten. Es muss bemerkt werden, dass solche in gewissen Horizonten vorkommende Reihen von Septarien, selbst in dem Falle, dass sich die Septarien durch spätere Infiltrationen bildeten, doch als eine Andeutung von Klimawandlungen während der Bildungszeit der Schichten zu deuten sind. Denn dass sich nur in gewissen Schichten Septarien bildeten, beruht eben auf eine ursprüngliche Wechsellagerung von verschiedenartigen Schichten. Es ist, wie mir scheint, für die postglaciale Zeit, wo uns

die Verhältnisse natürlich am besten bekannt sind, mit Evidenz nachgewiesen, dass solche periodische Klimawandlungen stattfinden. Ich meine, wir haben hier eine sichere Grundlage; und, an der Hand des grossen LYELL'schen Grundsatzes, dass wir aus der Gegenwart auf die Vergangenheit schliessen dürfen, habe ich nicht das geringste Bedenken diese Theorie auch auf die Wechsellagerungen der späteren geologischen Formationen anzuwenden. Es lassen sich die periodischen Klimawandlungen der postglacialen Zeit nicht durch geographische Aenderungen erklären. Ich sehe keine andere Erklärung, die möglich wäre, als die astronomische. Und ich glaube deshalb in der Wechsellagerung, wenigstens für die jüngeren Formationen, ein Mittel zu erkennen, wodurch wir die Länge der geologischen Zeiträume messen können.

Es giebt aber auch eine andere Periode, die sich in den Schichtenreihen spiegelt, und die viel länger dauert als die oben besprochene. Das Verhältniss zwischen Meer und Land ist zu allen Zeiten periodischen Aenderungen unterworfen gewesen. Süsswasserbildungen und Landformationen wechseln mit Brachwasser- und Meerwassergebilden, und unter den letzteren begegnet man wieder einer Abwechslung von Strandbildungen und solchen, die tieferes Wasser voraussetzen.

Die Triasperiode hat ihren Namen erhalten, weil sie, wo sie zuerst untersucht wurde, eine deutliche Dreitheilung zeigt. Sie fängt mit Süsswasser- und Strandbildungen an; es folgen echte Meeresbildungen; zuletzt kommen wieder Strand- und Süsswassergebilde. Es haben also im Verlauf dieser Periode zwei grosse Verschiebungen der Strandlinien stattgefunden, eine positive und eine negative. Und diese grossen Verschiebungen sind durch viele kleinere Oscillationen bedingt gewesen.

Aber wie mit dem Trias so verhält es sich, wenn man von den grossen Faltungszonen absieht, wo die regelmässigen Verhältnisse durch lokale Störungen verdunkelt sind, auch mit anderen geologischen Formationen. Sie fangen mit Strandbildungen an, häufig liegt ein Conglomerat zu unterst; auf diese Strandbildungen folgen echte Meeresgebilde und zuletzt wieder Strandbildungen. Der Name Trias passt somit eigentlich auf alle Formationen. EATON, NEWBERRY, HULL, DAWSON u. a. haben diese merkwürdige Dreitheilung der Formationen hervorgehoben. Und wenn man die Schichtenreihen genauer prüft, sieht man, dass diese grossen Verschiebungen aus vielen kleineren sich zusammensetzen. Solche Formationen hat man auch »cycles« oder »circles of deposition« genannt. In der Mitte eines solchen Cyklus haben wir eine grosse Meerestransgression, und die Cyklen sind von Festlandsperioden geschieden.

Diese Verschiebungen der Strandlinien sind aber kaum überall gleichzeitig in derselben Richtung vor sich gegangen. Es ist, wie wir bald sehen werden, Grund anzunehmen, dass sie in höheren und niederen Breiten in entgegengesetzter Richtung stattfinden. Wenn man aber die aus Nordamerika bekannten Schichten mit den Europäi-

schen vergleicht, sieht man, dass in denselben Breiten auf beiden Seiten der grossen Oceane die Verschiebungen gleichzeitig in derselben Richtung stattfanden. MOJSISOVICS, SUËSS u. a. haben mit Recht hervorgehoben, dass dieses Gesetz eine der merkwürdigsten Resultate der geologischen Forschung ist.

HOWORTH¹⁾ hat die quartären Verschiebungen der Strandlinie für die ganze Erde vergleichend untersucht und das Resultat seiner Untersuchung in folgenden Worten zusammengefasst: »The South Pole, as well as the North, is a focus of protrusion, the land around it is being gradually elevated». Das Land ist im letzten geologischen Zeitabschnitt im Grossen und Ganzen gestiegen in den höheren und gesunken in den niederen Breiten.

Zu einer ähnlichen Folgerung kommt auch SUËSS.²⁾ Er sagt: »Es zeigt sich terrassirtes Land in den hohen nordischen Breiten allenthalben. In den tropischen Wässern tritt der entgegengesetzte Fall ein. Weiter gegen Süden beginnt abermals das Terrassenland des Nordens». Aus diesem Umstande, dass also im letzten geologischen Zeitabschnitt, wo die Verhältnisse natürlich leichter erkennbar sind, die Verschiebungen in höheren und niederen Breiten in entgegengesetzter Richtung stattfanden, dürfen wir aber mit hoher Wahrscheinlichkeit schliessen, dass dasselbe auch in älteren Perioden der Fall war, dass also die Verschiebungen gewöhnlich im Grossen und Ganzen in verschiedenen Breiten eine verschiedene Richtung innehalten.

HOWORTH und SUËSS haben für diese Thatsachen verschiedene Erklärungen, indem der erste die feste Erde als das bewegliche ansieht, während SUËSS verticale Steigungen der festen Erdkruste, in soweit sie nicht mit der Faltenbildung in Verbindung stehen, leugnet. Die Ursache, warum er die Hebungstheorie verwirft, scheint einzig darin zu liegen, dass ihm Kräfte unbekannt sind, die ganze Kontinente vertical zu heben im Stande wären. Er will die negativen Verschiebungen unter höheren Breiten durch ein Sinken des Meeres erklärt wissen, vermag aber keine Gründe für ein solches Sinken anzugeben.

Die alten Strandlinien sind nun aber weder in Skandinavien noch in Nordamerika in ihrer ursprünglichen horizontalen Lage. Und die Hebung des festen Landes war selbst auf relativ kurzen Strecken viel zu ungleichmässig, als dass sie sich allein durch ein verändertes Meeresniveau erklären lassen könnte. Ueberdiess sehen wir, wenn wir die sogenannte feste Erdkruste näher untersuchen, dass es mit ihrer Festigkeit nur schlecht bestellt ist. Wir finden grössere oder kleinere Verwerfungen, Faltenbildungen u. s. w. Und wir müssen desshalb auch zugeben, dass die Verschiebungen nicht allein auf Aenderungen des Meeresstandes beruhen können.

Verschiebungen der Strandlinien, die unter höheren und niederen Breiten in entgegengesetzter Richtung stattfinden, lassen sich aber

¹⁾ Journ. Royal Geogr. Soc. Voll. 43, 44.

²⁾ Verh. K. K. Geol. Reichsanst. Wien 1880, P. 174—175.

kaum durch die von den Geologen jetzt allgemein angenommene Theorie von der Abkühlung und Contraction der Erdrinde erklären.¹⁾

Die herrschende Contractionstheorie scheint also nicht im Stande zu sein, die Thatsachen zu erklären. Es giebt aber auch eine andere Lehre, die, wie mir scheint, berufen ist in der Geologie eine grosse Rolle zu spielen. Sie stammt von dem grossen Naturphilosophen I. KANT her. Derselbe zeigte in seiner: »Untersuchung der Frage, ob die Erde eine Veränderung ihrer Achsendrehung erlitten habe«, dass die Reibung der Flutwelle gegen die Küsten und den Meeresboden eine Verzögerung der Achsendrehung bewirken muss. Und diese Meinung wird auch von den leitenden Physikern der Gegenwart als richtig anerkannt.

THOMSON und TAIT sagen, dass verschiedene Kräfte wirken, die theils eine Verkürzung theils eine Verlängerung des siderischen Tages hervorbringen. Die in der letzten Richtung wirkenden Kräfte sind aber die wichtigsten, und unter diesen spielt abermals die Flutreibung unzweifelhaft die erste Rolle. Diese Kraft wirkt unabänderlich durch Millionen von Jahren in derselben Richtung, und infolge dessen wird auch die Achsendrehung immer langsamer und langsamer. G. H. DARWIN hat ausgerechnet, dass vor vielen Millionen Jahren der siderische Tag viele Stunden kürzer war als heute.

Welche Wirkung wird nun diese stetige Abnahme der Centrifugalkraft auf die Erde ausüben? Die Erde ist, wie wir wissen, an den Polen abgeplattet. Und diese Abplattung ist eben durch ihre Achsendrehung bedingt. Wäre nun die Erde ganz und gar flüssig, dann müsste immer ihre Form der jeweiligen Achsendrehung entsprechen, und wenn sich die Achsendrehung immer mehr und mehr verzögerte, müsste die Abplattung immer abnehmen, die Erde würde sich immer mehr und mehr der Kugelform nähern. Das flüssige Meer muss sich natürlich sofort einer Aenderung in der Centrifugalkraft anpassen. Solange die feste Erde nicht ihre Form ändert, muss das Meer, wenn die Tageslänge wächst, langsam steigen in höheren Breiten und langsam sinken in niederen. Es ist nun aber eine Frage, ob nicht auch die feste Erde zuletzt den Kräften nachgeben und ihre

¹⁾ Auch der Versuch PENCK's, die grosse quartäre Hebung auf eine Attractionswirkung der Eismassen auf das Meereswasser zurückzuführen, ist nicht im Stande, die Thatsachen zu erklären, wie DRYGALSKI (Zeitschr. Ges. f. Erdk. Berlin 22), zeigte. Und DRYGALSKI's eigener Versuch, die Verschiebungen lediglich auf thermische Aenderungen der Erdkruste zurückzuführen infolge von Abkühlung und Erwärmung z. B. bei der Bildung und bei dem Schmelzen von Inlandeismassen (Verh. des deutsch. Geographentages Berlin 1889), ist kaum zureichend, wenn nicht andere Kräfte diese Wirkung unterstützen. Die Erwärmung der Kruste, wenn die Eismassen schwinden, mag vielleicht die sich erweiternde Erdkruste nachgiebiger machen gegen inneren Druck; die Abkühlung der Kruste durch Eis würde kaum andere Folgen haben, als dass die Kruste hie und da Spalten bilden würde.

Form ändern muss, wenn die Achsendrehung durch Millionen Jahre immer mehr und mehr verzögert wird. Werfen wir einen Blick auf die anderen Planeten, deren Achsendrehung und Abplattung wir kennen, so sehen wir, dass die Grösse der Abplattung von der Geschwindigkeit der Achsendrehung abhängig ist. Auch die Abplattung der Erde stimmt im Wesentlichen mit deren Achsendrehung überein. Wir sehen in diesen Verhältnissen eine Andeutung dahin, dass auch die feste Erde bei abnehmender Achsendrehung ihre Form ändern wird, eine Meinung die schon vor langer Zeit von HERBERT SPENCER ausgesprochen wurde. Ueber diese Frage sind aber die Physiker noch nicht einig geworden. Einige nehmen an, dass die Erde ihre Form nicht ändern wird, andere z. B. G. H. DARWIN, glauben dagegen, dass die feste Erde auch zuletzt nachgeben muss, dass die Abplattung immer abnimmt. »The polar regions must have been ever rising, and the equatorial ones falling«, und er nimmt an, dass aus diesem Grunde auch Verschiebungen der Strandlinie stattfinden können.¹⁾

TRESCA hat gezeigt, dass feste Stoffe, wie Eis, Blei, ja selbst Gusseisen unter hohem Druck plastisch werden. Das Innere unseres Planeten muss sich deshalb in einem plastischen Zustand befinden. Wenn somit das Gleichgewicht durch Abnahme der Centrifugalkraft gestört wird, und wenn zuletzt die feste Kruste nicht mehr den Kräften Widerstand leisten kann, wird auch die innere plastische Masse wahrscheinlich nachgeben müssen. Wenn wir bedenken, dass die Form der Erde beinahe der gegenwärtigen Drehungsgeschwindigkeit entspricht, dass der siderische Tag früher wahrscheinlich viele Stunden kürzer war als jetzt, dass die Erde seit vielen Millionen Jahren eine feste Kruste gehabt haben muss, und dass wir zahllose Beweise haben, dass die Kruste im Lauf der Zeiten Formveränderungen unterliegt, so sind wir geneigt die Meinung zu theilen, dass eine Aenderung der Centrifugalkraft auch Verschiebungen in der festen Erde hervorrufen muss.

Während nun das Meer sofort bei einer Aenderung der Centrifugalkraft seinen Stand ändern muss, wird die feste Erdkruste erst dann nachgeben, wenn die störenden Kräfte einen gewissen Grad erreicht haben. Bis dies geschieht, wird also das Meer allein seinen Stand ändern. Es wird in den höheren Breiten steigen und in den niederen sinken. Wenn endlich die Erdkruste den Spannungen nachgiebt, wird in höheren Breiten eine Hebung, in niederen eine Senkung der festen Kruste stattfinden. Es werden sich dann die Strandlinien wieder verschieben, aber in einer der vorigen entgegengesetzten Richtung. Während das Meer unaufhaltsam den Kräften nachgiebt und langsam in den höheren Breiten steigt, wird aber die feste Erde mehr ruckweise ihre Form ändern mit zwischenliegenden Ruhepausen, in welchen neue Spannungen sich anhäufen, bis diese Spannungen zuletzt so gross gewachsen sind, dass die Kruste ihnen nicht länger Widerstand zu leisten vermag. Wir haben also in dieser Verzö-

¹⁾ Philos. Transact. 1879. Nature 1886, P. 422.

gerung der Achsendrehung durch die Reibung der Flutwelle eine Kraft, die wahrscheinlich im Stande ist Verschiebungen der Strandlinie, sowohl positive als negative, und zwar im entgegengesetzten Sinne in höheren und niederen Breiten hervorzurufen. Auf die Frage, ob die Verzögerung gross genug ist, um die geologischen Thatsachen zu erklären, wollen wir erst später in unserer Abhandlung zurückkommen.

Die Erdbeben sind von Bewegungen in der Erd feste verursacht. Zuweilen hat man sogar nachweisliche Verschiebungen im festen Fels bei Erdbeben beobachtet. So z. B. auf Neuzeeland und im westlichen Nordamerika¹⁾. Noch häufiger haben in losen Alluvialmassen Verschiebungen während Erdbeben stattgefunden. Wenn solche Verschiebungen nicht häufiger beobachtet wurden, mag der Grund einfach darin liegen, dass die Verschiebungen gewöhnlich so klein waren, dass sie sich der Beobachtung entzogen. Wenn man bedenkt, dass Erdbeben in vielen Gegenden der Erde sehr häufige Erscheinungen sind, und dass im Laufe von Jahrtausenden zahllose kleine Verschiebungen sich zu einem grossen Betrag summiren können, liegt der Gedanke nahe, der schon vor vielen Jahren von CHARLES DARWIN²⁾ ausgesprochen wurde, dass zwischen den sogenannten secularen Verschiebungen der Strandlinien und den bei Erdbeben beobachteten Dislocationen kein wesentlicher Unterschied besteht. Im Laufe der Zeiten addiren sich die Wirkungen von zahllosen kleinen, jede für sich vielleicht kaum bemerkbaren Dislocationen (oder Erdbeben) bald zu einer Hebung, bald zu einer Senkung, je nachdem die Druckkräfte in positiver oder negativer Richtung wirksam sind.

Die Erdbeben sind die Folgen von Spannungen in der festen Erde. Es sind nicht alle Theile der Erdoberfläche in demselben Grade von Erdbeben heimgesucht, dass heisst: die innere Spannung und die Widerstandsfähigkeit der Kruste sind nicht überall gleich gross. Grosse Dislocationen verbrauchen die innere Spannungs kräfte. Nach solchen folgen Zeiten der Ruhe, worin neue Spannung angehäuft wird. Die Kräfte wirken bald hier, bald dort. Es ist desshalb ganz verständlich, dass Erdbeben nicht überall auf der Erde gleich häufig sind.

Aus Erdbebenbeobachtungen hat man herausgefunden, dass Erdbeben nicht zu allen Zeiten des Jahres gleich häufig vorkommen. Sie sind, wie die Statistik der Erdbeben zeigt, häufiger in unserem Winterhalbjahre als im Sommer. Man nimmt an, dass die Ursache dieser Thatsache darin liegt, dass die Erde, wenn die nördliche Halbkugel ihren Winter hat, sich in der Sonnennähe befindet, dass also die grössere Nähe der Sonne mehr Erdbeben hervorbringen würde.

¹⁾ SUSS: Antl. der Erde II p. 34. GILBERT in Am. Journ. Science III, 27, p. 51.

²⁾ Transact. Geol. Soc. London Ser. II, Vol. V, 1840. P. 601.

Auch in den Zyzgien scheinen Erdbeben häufiger vorzukommen als in den Quadraturen. Ja es scheint sogar, als ob ein niedriger Luftdruck von häufigeren Erdbeben begleitet wird.

Solche kleine Änderungen der Druckkräfte wie diese sind kaum im Stande an und für sich Erdbeben zu bedingen. Wir müssen vielmehr annehmen, dass sie nur lösend wirken für Spannungen, die durch andere Kräfte (z. B. die Abnahme der Centrifugalkraft) hervorgerufen sind. Ist die Erde an irgend einer Stelle bis zur Elasticitätsgrenze gespannt, dann ist eine geringe Änderung in den Druck- oder Zugkräften zureichend um die Spannung zu lösen.

Die Excentricität der Erdbahn ist periodisch veränderlich. Sie steigt und sinkt wechselweise; jede solche Periode dauert ungefähr 80—100000 Jahre. Die Kraft der Flutwelle ändert sich etwas mit der Excentricität der Erdbahn. Die perturbierende Kraft der Sonne wächst nämlich mit der Excentricität. Und wenn diese ihren grössten Werth bekommt, ist die Erde in ihrer Sonnennähe mehr als eine Million Meilen näher der Sonne als wenn die Excentricität gering ist. Bei grosser Excentricität werden die Springfluten, wahrscheinlich auch die Änderungen im Luftdruck grösser als sonst. Bei grosser Excentricität wächst somit die innere Spannung etwas schneller, weil die Flutwelle stärker ist und die Verzögerung der Achsendrehung etwas rascher vorschreitet. Da somit bei hoher Excentricität nicht nur die innere Spannung schneller zunimmt, sondern auch die lösenden Kräfte viel gewaltsamer wirken, dürfen wir annehmen, dass bei hoher Excentricität die Erdbeben häufiger werden, mit anderen Worten, es ist wahrscheinlich, dass die feste Erde besonders dann ihre Form ändern wird, wenn die Excentricität der Erdbahn eine grössere wird. Wir sollten somit in der Lage sein, die Verschiebungen der Strandlinien mit den Änderungen der Erdbahnexcentricität zu verknüpfen. Um diese Hypothese zu prüfen können wir die geologischen Schichtenreihen mit den astronomischen Perioden vergleichen.

Die Kurve der Erdbahnexcentricität wurde nach den neuen STOCKWELL'schen Formeln von MC. FARLAND¹⁾ berechnet für mehr als 4 Millionen Jahren, etwas mehr als 3 Millionen in der Vergangenheit und 1 Million Jahre in der Zukunft. Diese Berechnung, deren Genauigkeit für unseren vorliegenden Zweck völlig ausreicht, zeigt die sehr bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit, dass die Kurve sich mit merkwürdiger Regelmässigkeit wiederholt. Die berechnete Kurve wiederholt sich in dieser Weise dreimal. Jeder dieser so gebildeten Cyklen dauert ungefähr $1\frac{1}{2}$ Millionen Jahren. In einem solchen Cyklus steigt und sinkt der mittlere Werth der Excentricität einmal unter 16 Oscillationen. Jede Oscillation dauert 80000 bis 100000 Jahre und umfasst also 4—5 synodische Präcessionsperioden. Der mittlere

¹⁾ Am. Journ. Science, Ser. III, Vol. 20.

Werth der Excentricität ist im Anfang eines Cyklus gering, er steigt in der Mitte und nimmt im letzten Theile des Cyklus wieder ab, und er kann viele hundert Jahrtausenden hindurch viel grösser sein als in andern Hunderten von Jahrtausenden. So war er z. B. für die Zeit \div 3250000 bis \div 2720000 Jahre in der Vergangenheit 0,0304, für die Zeit \div 2150000 bis \div 1810000 nur 0,0203.

Indem wir annehmen, erstens, dass die Präcession der Aequinoctien eine klimatische Periode bedingt, die sich in der Wechsellagerung spiegelt, und zweitens, dass die Formveränderungen der festen Erde besonders dann stattfinden, wenn die Excentricität eine grössere wird, dass also der Meeresstand in höheren Breiten mit der Excentricität steigt und fällt, werden wir somit im Stande sein die geologischen Schichtenreihen mit den astronomischen Perioden zu vergleichen.

Schon in meiner Abhandlung über Wechsellagerung machte ich den Versuch mit Hilfe der Kurve geologische Profile zu construiren, und es zeigte sich, dass ein solches »künstlich« construirtes Profil mit beinahe 40 Wechsellagerungen und 10 Oscillationen sich Schicht für Schicht in der eocänen und oligocänen Schichtenreihe des Pariserbeckens wiederfinden liess. Wir wollen jetzt, soweit diess möglich ist, die ganze tertiäre und quartäre Formation mit der Kurve vergleichen. Bei der mir zugänglichen Litteratur habe ich diese Vergleichung nur für die Europäische Schichtenreihe durchführen können.

Die Tertiärformation wird, wie bekannt, in vier Epochen getheilt: Eocän, Oligocän, Miocän und Pliocän. Untersucht man nun die Zahl der Wechsellagerungen in jeder dieser vier Epochen, dann zeigt es sich, dass die Eocänepoche von ebenso langer Dauer war als die drei übrigen Epochen zusammengenommen.

Die Grenze zwischen Kreide und Eocän ist durch eine negative Phase, wie SUSS¹⁾ es nennt, bezeichnet, dass heisst, während dieser Zeit hatten sich die Strandlinien in höheren Breiten zurückgezogen. In der Eocänzeit stieg das Meer wieder und das eocäne Meer hatte eine weite Verbreitung. Zwischen Eocän und Oligocän haben wir wieder eine negative Phase. In der Oligocän- und noch mehr in der Miocänzeit ist das Meer wieder in höheren und mittleren Breiten gestiegen, zwischen Miocän und Pliocän sind die Strandlinien wieder zurückgegangen und am Anfang der Quartärzeit stieg das Meer auf neue. Und ähnliche grosse Oscillationen fanden auch in Nordamerika und Patagonien statt.

Es scheint also, als ob die Tertiärzeit zweien der oben besprochenen geologischen Cyklen entspricht. Der erste Cyklus ist das Eocän, der zweite das Oligocän, das Miocän und das Pliocän.

Wir müssen jetzt untersuchen, wie viele kleinere Oscillationen oder Stufen in jedem dieser zwei Cyklen enthalten sind. Und wir wollen auch die Zahl der Wechsellagerungen in jeder geologischen Stufe zu bestimmen suchen.

¹⁾ SUSS: Antl. d. Erde II P. 376 ff.

An der Hand der mir zugänglichen Literatur über dem Europäischen Tertiär habe ich nun folgendes gefunden¹⁾. Ich bemerke, dass unter den von den Autoren aufgestellten Stufen es mehrere giebt, die 3—4 Oscillationen der Strandlinie enthalten.

Erster tertiärer Cyklus (Eocän).

Oscillationen: 1. Montien? 2. Heersien. 3. Suessionien. 4. Yprésien inférieure? 5. Yprésien supérieure? 6. Panisilien. 7—12. Parisien 13—16. Bartonien.

Zweiter Cyklus.

Oligocän: 1—4. Ligurien. 5—7. Tongrien. *Miocän:* 8. Aquitanien? 9. Langhien. 10. Helvetien. 11. Tortonien. 12. Messinien. *Pliocän:* 13. Matérin. 14. Plaisancien. 15. Astien. 16. Arnusien.

Ausserdem scheint die Quartärzeit vier Oscillationen der Strandlinie zu enthalten.

Die Zahl der Wechsellagerungen in jeder Oscillation war es mir nicht möglich in allen Fällen zu bestimmen. Die tertiären und quartären Oscillationen der Strandlinien scheinen jede 4—5 Wechsellagerungen zu enthalten. Diese Zahl ist festgestellt für fast alle Oscillationen der genannten Zeit, und man darf annehmen, dass sich auch für die übrigen dieselbe Zahl herausstellen wird, sobald man genaue Detailprofile der betreffenden Stufen bekommt.

In der Abhandlung über Wechsellagerung machte ich den Versuch mit Hülfe der Kurve ein »künstliches« Profil zu construiren. Ein solches mit beinahe 40 Wechsellagerungen wurde, wie oben gesagt, in der eocänen und oligocänen Schichtenreihe des Pariserbeckens aufgefunden. Schon dies ist sehr auffallend. Die Kurve und die geologische Schichtenreihe stimmen mit einander vollständig überein, und es mag hinzugefügt werden, dass die besprochene Schichtenreihe nur in einen bestimmten Theil der Kurve hineinpasst.

Gleichzeitig mit diesen Pariserschichten bildete sich auf der Insel Wight eine lange Reihe von Schichten. Nimmt man an, dass zwischen dem Barton und dem Lower Headon auf der Insel Wight eine Lücke in der Schichtenreihe vorhanden ist, eine Annahme, die durch den plötzlichen Wechsel der Fossilien zwischen dem Barton und dem Middle Headon, sowie durch einen Vergleich mit den Pariserschichten, (es giebt auf Wight keine Schichten, die mit dem Calcaire de St. Ouen zu vergleichen wären), höchst plausibel erscheint, dann kann man zeigen, dass in den gleichzeitig gebildeten Schichten sowohl auf der Insel Wight als im Pariserbecken, die Zahl der Oscillationen und der Wechsellagerungen dieselbe ist; und doch sind die Schichten auf der Insel Wight mehr als dreimal so mächtig als die äquivalenten

¹⁾ Detailprofile sowie specielle Literaturnachweise finden sich in meiner Abhandlung über Wechsellagerung (Biol. Centralblatt III) sowie in meinem »Probable Cause« etc. Christ. Vid. Selsk. Forh. 1889 (Norwegisch in Nyt Mag. f. Nat. 31). Die Namen der Stufen sind grösstentheils die von CHARLES MAYER-EYMAR benutzten.

Pariserbildungen. Zwar sind die Schichten auf der Insel Wight sehr variabel; aber es geht aus den Beschreibungen von E. FORBES hervor, dass es auch hier gewisse konstante Wechsellagerungen giebt, die man benutzen darf um die Zahl der klimatischen Wandlungen festzustellen. In zwei getrennten Gegenden bildete sich folglich in derselben Zeit unter ähnlichen Oscillationen der Strandlinie dieselbe Zahl von Wechsellagerungen. Solche Verhältnisse sprechen ja doch dafür, dass sowohl die Oscillationen der Strandlinie als die Wechsellagerung in allgemeinen kosinischen Perioden ihren Grund haben.

Die solcherweise in die Kurve eingepassten Schichtenreihen aus dem Pariserbecken und der Insel Wight sollten sich in dem Zeitraume zwischen 2 Millionen Jahre und 1150000 Jahre in der Vergangenheit gebildet haben.

Ist dem nun wirklich so, dann sollten wir in der Zeit, die seit der Bildung der letzten dieser Pariserschichten verflossen ist, ebenso viele Oscillationen und Wechsellagerungen zählen können, als die Excentricitätskurve angiebt. Und das ist nun, wie es scheint, wirklich auch der Fall. Und gehen wir von den ersten Schichten der eben genannten Schichtenreihe aus dem Pariserbecken rückwärts bis zum Schluss der Kreidezeit, dann können wir den ersten Cyklus der berechneten Kurve mit Oscillationen ausfüllen, und die Grenze zwischen Kreide und Tertiär fällt mit der Grenze zwischen zwei Cyklen der Kurve zusammen, in einer Zeit, wo also der mittlere Werth der Excentricität gering war.

Alle diese Uebereinstimmungen zwischen den Schichtenreihen und der Excentricitätskurve sind so gross und so auffallend, dass sie kaum nur auf Zufall beruhen können. Ebenso wie ein Cyklus der Kurve aus 16 kleineren Bögen, jeder mit 4—5 Präcessionsperioden, gebildet wird, so besteht auch die Tertiärformation aus zwei geologischen Cyklen; jeder dieser geologischen Cyklen zeigt 16 Oscillationen der Strandlinie (oder 16 geologischen Stufen), und jede Stufe hat 4—5 Wechsellagerungen. Eine solche Uebereinstimmung kann wohl kaum zufällig sein.

Und wenn dies alles nicht Zufall ist, dann können wir sagen, dass die Tertiärzeit vor 3250000 Jahre ihren Anfang nahm. Es dauerte das Eocän beinahe $1\frac{1}{2}$ Millionen Jahre bis 1800000 Jahre in der Vergangenheit. Oligocän, Miocän und Pliocän hatten zusammengenommen eben dieselbe Dauer von beinahe $1\frac{1}{2}$ Millionen Jahren. 350000 Jahre sind seit dem Ende der Tertiärzeit verflossen. Und die quartäre Eiszeit liegt 1—300000 Jahre zurück.

Wir müssen nun noch die Frage zu lösen versuchen, ob auch wirklich die Verzögerung der Achsendrehung für sich allein im Stande ist quantitativ die geologischen Thatsachen zu erklären, oder ob wir auch die alte Contractionstheorie zu Hülfe nehmen müssen.

Diese Frage lässt sich noch nicht definitiv lösen, weil wir nicht

wissen, wie schnell, oder richtiger gesagt, wie langsam die Verzögerung der Achsendrehung ist. Sir W. THOMSON hat einst berechnet, dass die Verzögerung der Rotation durch die Flutwelle in 100000 Jahren den siderischen Tag um 10 Sekunden verlängern sollte, aber dieser Werth ist nur ein wahrscheinlicher. Nehmen wir aber diesen Werth als Ausgangspunct, dann sollte bei einer Verlängerung des Tages um 10 Sekunden der Aequatorialradius der Erde sich um 5,6 *m* verkürzen, der Polarradius sich um 11,2 *m* verlängern. Nehmen wir der Einfachheit wegen an, dass die Flutwelle durch die ganze Tertiärzeit mit derselben Stärke wirksam war, danu sollten sich in 1½ Millionen Jahren (einem geologischen Cyklus) Spannkraften anhäufen können, die gross genug wären, um eine Verkürzung des Aequatorialradius von 84 *m* und eine Verlängerung des Polarradius von 168 *m* zu bewirken. Für die ganze Tertiärzeit müssten diese Zahlen dann wenigstens verdoppelt werden.

Ist nun eine Senkung der Aequatorialgegenden um 168 *m* und eine Hebung der Polarzonen um 336 *m* ausreichend, um die während der Tertiärzeit stattgefundenen Verschiebungen in der festen Erde zu erklären? Auch diese Frage ist natürlich nicht leicht zu entscheiden.

Die grössten und mächtigsten Gebirgsketten unserer Erde sind während der Tertiärzeit entstanden. Aber diese Ketten sind nur durch lokale Faltungen gebildet. Sie nehmen keinen grossen Raum ein, und mit dem ganzen Erdball verglichen sind sie nur als unbedeutende Runzeln anzusehen. Kleine Kräfte, die auf eine grosse Masse wirken, können lokal, an schwachen Punkten oder Linien bedeutende Änderungen verursachen. Es laufen die grossen Gebirgsketten auf der Scheidelinie zwischen grossen Kontinenten und Ozeanen. Selbst die Ketten, die quer durch Eurasien laufen, bildeten sich einst an der Küste des grossen tertiären Mittelmeeres. Es ist nun Grund anzunehmen, dass der Meeresboden und das trockne Land sich nicht gleichzeitig bewegen werden. Denn das Meer ist beweglich und folgt sogleich den Änderungen der Centrifugalkraft. Es wird durch das steigende Meer in höheren Breiten auf dem Meeresboden ein Gegendruck geschaffen, und in niederen Breiten steigt auf dem Meeresboden der Druck langsamer, weil das Meer sinkt. Diese Wirkung wird in höheren Breiten durch die Denudation des festen Landes verstärkt. Es ist also wahrscheinlich, dass die Festländer und der Meeresboden nicht gleichzeitig dislociert werden. Und sie werden auch durch vulkanische Linien geschieden, durch Spalten in der Kruste, wo der Widerstand gegen die inneren Kräfte schwächer ist als sonst. Eben auf diesen Linien befinden sich die grössten und jüngsten Gebirge unserer Erde.

Und was die seit dem Anfang der Tertiärzeit stattgefundenen Strandlinienverschiebungen anbelangt, so sollte man prüfen, ob sie vielleicht durch eine allgemeine Senkung der ganzen Aequatorialgegenden um 168 *m* und durch eine Hebung der Polarzonen um 336 *m* erklärbar sind. Es wäre vielleicht nicht unmöglich.

Wir können grosse und kleine Verschiebungen der Strandlinien unterscheiden. So hat in der Quartärzeit in höheren Breiten eine ausgedehnte und bedeutende Hebung der Festländer stattgefunden. Skandinavien ist an einzelnen Orten 188 *m* gestiegen. Aber an anderen Orten war die Hebung viel geringer. Der Mittelwerth der Hebung für die ganze Halbinsel würde viel kleiner ausfallen. Auch in Nordamerika, besonders im hohen Norden, hat man bedeutende quartäre oder spätertäre Niveauperänderungen (bis 500 *m* und mehr an einzelnen Orten) konstatiert.

Die alten marinen Tertiärbecken bei Paris, Wien, in Ungarn, Deutschland u. s. w. sind auch gestiegen, aber hier in diesen Breiten war die Steigung, obgleich nicht ganz unbedeutend, doch geringer als im arctischen Norden.

Solche grosse Verschiebungen der Strandlinien, die im Verhältniss zur ganzen Erde doch nur als verschwindend kleine Aenderungen zu betrachten sind, waren aber im Lauf der Zeiten ziemlich seltene Erscheinungen. Sie finden nur dann und wann statt nach dem Verlaufe von langen ruhigeren Zeitperioden, in welchen nur kleinere und, wie es scheint, mehr lokale Verschiebungen, gewissermassen als Vorboten der grösseren, stattfinden. Die grossen Verschiebungen sind mit anderen Worten die Folge von den durch ganze Cyklen, durch mehrere, vielleicht viele Hunderttausende von Jahren angesammelten Spannungen.

Es lassen sich solcherweise auch mit unserer Hypothese die grossen Meerestransgressionen erklären. Das Meer steigt unter höheren Breiten so lange, bis zuletzt das feste Land den Kräften nachgiebt. Liegt nun die feste Erde durch Hunderttausende von Jahren unbeweglich, entfernt sich somit die feste Erde, während der Verlängerung des siderischen Tages, mehr und mehr von der der jeweiligen Tageslänge entsprechenden Form, so wird in höheren Breiten das Meer hundert bis zweihundert oder vielleicht noch mehr Meter steigen. Und bedenken wir, dass wir in höheren Breiten grosse und weitgedehnte Tiefländer besitzen, wie z. B. die Ebenen im nördlichen Asien und Mitteleuropa, so sehen wir leicht, dass in dieser Weise grosse Meerestransgressionen bewirkt werden können. RAMSAY und v. RICHTHOFEN haben nun gezeigt, wie bei diesen Transgressionen die Brandung die Küsten zerstörte, so dass grosse Abrasionsflächen gebildet wurden. Es zeigt dies, wie langsam und unmerklich die positiven Verschiebungen der Strandlinien stattfanden, und das stimmt sehr wohl mit der Annahme, dass es die Verzögerung der Achsendrehung war, welche das Steigen des Meeres bewirkte. In diesen Transgressionsperioden häuften sich somit durch lange Zeiten die Spannungen an, die später durch grosse Hebungen der festen Erdkruste in höheren Breiten ausgelöst wurden. In diesen Transgressionszeiten wurden die vulkanischen Kräfte stärker und stärker. A. GEIKIE hebt hervor, dass es in der Geschichte der Erde Zeiträume gegeben hat, da der Vulkanismus viel heftiger wirkte als sonst. Die grossen Masseneruptionen, wodurch tausende von Quadratmeilen mit

Laven überschwemmt wurden, gehörten gewiss solchen Zeiten an, wo die Erde mehr als gewöhnlich gespannt war. So sehen wir, wie in der Miocänzeit an vielen Orten der Erde heftige vulkanische Eruptionen sich ereigneten. Und diese Eruptionen waren die Vorboten der grossen Verschiebungen, die bis in die Pliocänzeit stattfanden.

Die nachfolgende negative Verschiebung, durch die Hebung des Landes bewirkt, war aber, wie SUSS hervorhebt, von verhältnissmässig kurzer Dauer, was auch sehr wohl mit unserer Erklärung stimmt.

In dieser Weise fanden also nach unserer Meinung die grossen Verschiebungen der Strandlinien statt, die uns in den Stand setzen zwischen geologischen Cyklen zu scheiden. Die Cyklen sind aber von Stufen gebildet. Jede Stufe (in unserem Sinne genommen) bezeichnet eine kleinere Oscillation der Strandlinie. Die Tertiärreihe ist, wenn man von den Schichten der grossen gefalteten Gebirgszüge absieht, von wechselnden Süsswasser- und marinen Seichtwasserbildungen aufgebaut. Tiefwasserbildungen kommen kaum vor oder sind jedenfalls selten. Ein Wechsel von Strandbildungen und Süsswasserbildungen, wie wir einen solchen in unserer tertiären Schichtenreihe sehen, setzt natürlich keine grossen Verschiebungen der Strandlinie voraus. Wo marine mit Süsswasserbildungen in mehrfachem Wechsel auftreten, wie das in der Tertiärformation häufig der Fall ist, wurden die Schichten in einem durch Dämme vom offenen Meere geschiedenen Becken abgesetzt. Waren die Bildungsräume nicht beckenförmig, und wurden die Schichten nicht an der Mündung grosser Flüsse abgesetzt, dann sind die marinen Schichten durch Lücken in der Reihe geschieden. Es ist nun einleuchtend, dass dort, wo ein Becken durch Dämme vom offenen Meere abgesperrt ist, wir nur eine unbedeutende Verschiebung der Strandlinie brauchen um den Damm wechselweise zu überfluten oder trocken zu legen. Bei geringfügigen Strandlinienverschiebungen kann das Becken wechselweise mit Süss- und Salzwasser gefüllt werden. Und solche Verschiebungen können somit, wenn das Becken tief ist, sogar den Wechsel von mächtigen Süss- und Salzwasserbildungen aus tiefem Wasser bedingen.

E. FORBES¹⁾ zeigte, wie schnell sich in der Strandzone die Fauna mit der Tiefe des Wassers ändert. Geringfügige Tiefendifferenzen von wenigen Fuss reichen aus, um grosse Verschiedenheiten in Thierleben zu bedingen. Kleine unbedeutende Verschiebungen sind somit hinreichend, um einen Fossilienwechsel hervorzurufen. Auch sehen wir in der Tertiärformation nicht selten, dass die Oscillationen des Strandes so klein waren, dass nicht einmal das ganze Aestuarium von der Veränderung beeinflusst wurde. Während z. B. eine Stufe an einem Orte nur aus Süsswasserschichten aufgebaut ist, sind zuweilen in demselben Aestuarium, aber an anderen Orten, in der Mitte der Stufe marine Schichten eingeschaltet.

Nach dieser Anschauung werden somit die Verschiebungen der Strandlinie durch Änderungen der Centrifugalkraft bedingt. Die

¹⁾ Rep. Brit. Ass. Adv. Sci. 1844, P. 179.

Änderungen der Centrifugalkraft werden mit wachsender Excentricität der Erdbahn etwas grösser. Ebenso wachsen unter denselben Verhältnissen die Spannung auslösenden Kräfte. Somit finden die Verschiebungen der festen Erdkruste besonders bei grosser Excentricität statt. Dass Meer richtet sich sofort nach den Änderungen der Centrifugalkraft. Es steigt in höheren Breiten im Verhältniss zum Lande, solange die feste Kruste den Kräften nicht nachgiebt. Der Mittelwerth der Excentricität steigt und sinkt während eines Cyklus einmal unter 16 Oscillationen. Jede von diesen 16 Oscillationen bedingt lokal an besonders schwachen Punkten kleine Verschiebungen der Strandlinie. Wenn der Mittelwerth der Excentricität durch hunderttausende von Jahren ein grösserer ist, werden grössere Verschiebungen eingeleitet. Die Spannungen steigen. Der Vulkanismus wächst in Stärke. Zuletzt folgen grössere und allgemeinere Formveränderungen der festen Erde, wodurch die Spannungen ausgelöst und viele früher marine Becken für lange Zeiten dem Meere entzogen werden. In solcher Weise bekommen wir Schichtenreihen wie sie in den Formationen vorliegen: die Stufen, durch kleinere Verschiebungen bedingt, sammeln sich zu Cyklen, deren Unterscheidung erst durch grössere Formveränderungen der Erde möglich wurde.

Wir haben im Anfang unserer Abhandlung von den verhältnissmässig kleinen klimatischen Wandlungen gesprochen, die durch die Präcession der Aequinoctien bedingt werden.

Die Geologie erzählt aber auch von grossen Änderungen des Klimas, die schwerlich allein durch die Präcessionstheorie zu erklären sind.

Während der Eiszeit waren grosse Theile der Erde, die sich jetzt eines temperirten Klimas freuen, unter Schnee und Eis begraben. Und in der Tertiärzeit wuchsen in den Polargegenden, wo jetzt nur eine kümmerliche arctische Flora zwischen Schnee und Eis gedeiht, grosse Wälder von Nadel- und Laubbäumen, die von dem Vorherrschen eines warmen temperirten Klimas zeugen.

Um solche Änderungen des Klimas zu verstehen hat man verschiedene Hypothesen aufgestellt. Wir wollen versuchen zu zeigen, dass vielleicht geringe geographische Änderungen ausreichen, um grosse klimatische Wandlungen hervorzurufen.

Die Wandlungen des Klimas in den nördlichen Gegenden während der Tertiär- und Quartärzeit waren kurz gefasst die folgenden:

Die Eiszeit war viel ausgeprägter zu beiden Seiten des Atlantischen Oceans als am Stillen Meere. Im nordwestlichen Europa, auf den Färöinseln, Island, Grönland, und im östlichen Nordamerika hatte das Eis eine ungeheure Verbreitung. Im östlichen Asien und im westlichen Nordamerika sind die Spuren der Gletscher viel weniger ausgedehnt.

Das warme Klima, das während eines grossen Theiles der Tertiärzeit in den hochnordischen und nördlichen Gegenden waltete, scheint

nach unserem jetzigen Wissen, wie NATHORST zeigte, ebenso in den Gegenden, die an das nördliche Atlantische Meer grenzen, mehr ausgeprägt gewesen zu sein als in den Gegenden am Stillen Ocean.

NATHORST¹⁾ spricht den Gedanken aus, dass die Vertheilung der tertiären Flora im hohen Norden besser verständlich wird, wenn wir annehmen, dass der Nordpol damals eine andere Lage hatte. Er verlegt, nach den verschiedenen Wärmebedürfnissen der aufgefundenen fossilen Floren schliessend, seinen hypothetischen tertiären Nordpol nach 70° n. Br. und 120° ö. L. Gr. Es ist diess aber eben die Lage des jetzigen sibirischen Kältepoles. Ein solcher Erklärungsversuch scheint uns auch desshalb bedenklich, weil dadurch keineswegs die Eiszeit erklärt wird. Es ist theoretisch nachgewiesen, dass eine Verschiebung der Achsenlage im Erdkörper sehr wohl denkbar ist. Und es giebt geologische Thatsachen, die vielleicht durch eine solche Änderung der Achsenlage zu erklären sind. Es ist aber nicht bewiesen, dass eine solche Änderung in der Lage der Pole, wie sie NATHORST voraussetzt, wirklich stattgefunden habe, und wir wollen desshalb untersuchen, ob nicht vielleicht die stattgefundenen klimatischen Wandlungen sich einfach durch geographische Änderungen erklären lassen.

Das Stille Meer steht mit dem Polarmeere nur durch die enge und seichte Beeringsstrasse in Verbindung. Kein mächtiger warmer Strom vermag durch diese Strasse einzudringen. Der Atlantische Ocean ist dagegen gegen Norden zu offen, und der warme Meeresstrom bespült die Küsten von Spitzbergen und Nowaja-Semlja.

Wir sehen die mächtige Wirkung dieser geographischen Verhältnisse im Verlauf der Isothermen. Dieselben biegen im nordatlantischen Meere weit gegen Norden hinauf, am Beeringsmeere dagegen verlaufen sie den Breitecirkeln parallel.

Die grossen Wirkungen der kalten und warmen Meeresströmungen auf das Klima wurden schon von SARTORIUS v. WALTERSHAUSEN betont und sind jetzt allgemein anerkannt. Es leuchtet somit ein, dass verhältnissmässig kleine geographische Wandlungen genügen würden, um das Klima der Polargegenden mächtig zu ändern. Und aus dem, was oben gesagt wurde, sollte man schliessen können, dass solche geographische Wandlungen grösser waren im Nördlichen Atlantischen als im Stillen Meere.

Vor dem Eingange zu den nördlichen Theilen der zwei grossen Oceanen liegen vulkanische Linien. Südlich von dem Beeringsmeere streicht querüber von Kontinent zu Kontinent die Vulkanlinie von Alaska und den Aleuten, und querüber dem nördlichen Atlantischen Meere läuft längs der unterseeischen Brücke mit seichtem Wasser die vulkanische Linie der Hebriden, Färöer und Island von Schottland nach Grönland hinüber.

Solche vulkanische Linien sind nun aber Linien der Schwäche in der Erdkruste, wo man Recht hat grössere Hebungen und Senkungen

¹⁾ Abb. herausg. von DAMES und KAYSER IV, P. 54.

anzunehmen als sonst. Welche grosse Änderungen sind z. B. im östlichen Mittelmeere seit der Pliocänzeit vorsichgegangen?

Und Welch einen mächtigen Einfluss würde z. B. eine Hebung der unterseeischen Landbrücke von Europa nach Grönland auf das Klima der nördlichen Gegenden ausüben?

Pflanzengeographische Gründe sprechen in hohem Grade dafür, dass eine solche Landbrücke während oder nach der Pliocänzeit wirklich bestand. Das südliche Grönland, noch mehr Island und die Färöinseln haben eine europäische Flora. Und um diese Verbreitung der Flora zu verstehen, müssen wir eine alte Landverbindung als wahrscheinlich annehmen. Durch eine solche Verbindung wäre ausserdem der warme Meeresstrom vom nördlichen Meere ausgeschlossen. Aus dem nordatlantischen Meere würde ein Eismeer werden, und die Eiszeit, die besonders an den Küsten dieses Meeres ausgeprägt war, wäre vielleicht erklärt.

Sind nun ähnliche Änderungen an der Beeringsstrasse und am Beeringsmeere vor sich gegangen, hätte einst das Stille Meer eine mehr offene Kommunikation mit dem Polarbecken; könnten gleichzeitig aus beiden grossen Oceanen warme mächtige Meeresströme sich ins Polarmeer ergiessen, und die kälteren Gewässer längs den Ostseiten sowohl von Amerika als von Asien ihren Ausweg finden, dann würde vielleicht das Klima der Polargegenden so mild werden, dass wir durch solche geographische Änderungen allein die klimatischen Wandlungen erklären könnten. Es ist dies jedenfalls eine Frage, die von den Meteorologen ernstlich geprüft zu werden verdient.

Auch geologische Gründe sprechen dafür, dass solche geographische Veränderungen stattgefunden haben. Eine grosse Hebung des Landes hat in hohen Breiten in der letzten geologischen Zeit stattgefunden. Besonders liegen die alten Strandlinien hoch im arktischen Nordamerika. Und marine Tertiärbildungen in Sibirien und Mitteleuropa sowie in Alaska und am Beeringsmeere erzählen, dass einst die Verbindung des Polarmeeres sowohl mit dem atlantischen Meere als mit dem Stillen offener war als jetzt. Auch sehen wir, wenn wir die fossilen Säugethierfaunen der neuen und alten Welt vergleichen, dass die zwei grossen Kontinente bald zusammenhingen, bald geschieden waren, dass somit das Eismeer bald mit den grossen Meeren in offener Kommunikation stand, bald von den wärmeren Meeren abgeschlossen war.

Wir sehen also, dass verhältnissmässig kleine geographische Änderungen grosse klimatische Wandlungen bedingen können. Und ich glaube überhaupt, dass die hier dargestellte Hypothese im Stande ist, die geologischen Thatsachen zu erklären, wenn nicht allein, so doch mit Hülfe von anderen Hypothesen z. B. der von der Contraction.

Ich habe versucht zu zeigen, dass die besprochenen Kräfte gross genug sind um in der gegebenen Zeit die stattgefundenen geographischen und klimatischen Wandlungen zu bedingen. Die seit der

Kreidezeit stattgefundenen Änderungen auf der Erdoberfläche sind nur von einem menschlichen Standpunkte aus gross zu nennen. Im Verhältniss zur ganzen Erde sind sie verschwindend klein.

Die Zeiträume, die unsere Hypothese annimmt, stimmen auch gut mit den Annahmen der Physiker, nach denen kaum mehr als 100 Millionen Jahre für die Bildung aller sedimentären Formationen zur Verfügung stehen ¹⁾. Und hätte die Tertiärzeit eine Dauer von vielen Millionen Jahren gehabt, dann sollte man viel mächtigere Schichtenbildungen erwartet haben als die tertiären sind.

Ist nun auch die berechnete Zeit zureichend für die seit der Kreideperiode vorgegangenen Änderungen der Arten von Thieren und Pflanzen? Auf diese Frage kann die Wissenschaft kaum eine bestimmte Antwort geben. Bedenken wir, wie schnell sich in der Kultur neue Formen bilden können und dass sogar in der historischen Zeit viele Arten ausgestorben sind, dass grosse klimatische Wandlungen und ausgedehnte Wanderungen der Arten seit der Kreidezeit stattfanden, dass schon lange vor dem Anfang der Tertiärperiode Dicotyledonen und Säugethiere existierten, so scheint es mir nicht unwahrscheinlich, dass auch für die Änderungen der Arten die gegebene Zeit ausreichen würde. Ich kann mich ausserdem in dieser Beziehung auf die Ausführungen von A. R. WALLACE berufen. Derselbe meint, dass die von den Physikern gewährte Zeit sowohl für die Bildung der Schichtenreihen als für die Modification der Arten ausreichend ist ²⁾.

¹⁾ S. G. H. DARWIN: Address to the Math. and Phys. Section of the Brit. Assoc. Birmingham 1886, P. 8.

²⁾ S. WALLACE: Island Life (London 1888), P. 228.