

UEBER  
DIE  
KLIMA-AENDERUNGEN  
DER  
GEOLOGISCHEN VERGANGENHEIT

VON  
PROF. DR. FRITZ FRECH



MEXICO

IMPRESA Y FOTOTIPIA DE LA SECRETARIA DE FOMENTO.  
Callejón de Betlemitas número 8.

—  
1907

---

---

UEBER DIE KLIMA-AENDERUNGEN  
DER  
GEOLOGISCHEN VERGANGENHEIT  
VON PROF. DR. FRITZ FRECH.

---

Die Erörterungen über das Klima der geologischen Vergangenheit haben in den vier Jahren, welche seit der Veröffentlichung meiner Studien<sup>1</sup> verflossen sind, in verschiedenem Sinne Fortschritte gemacht. Zunächst sind neue Theorien und Hypothesen über das palaeothermale Problem aufgestellt worden, ferner hat sich Kritik und Antikritik mit den physikalischen Grundlagen der Kohlensäure-Theorie beschäftigt, vor allem haben aber die geologischen Beobachtungen eine Vertiefung und Erweiterung erfahren.

Von den nebelhaften astronomischen oder meteorologischen Hypothesen soll im Folgenden nicht die Rede sein.

Eine Zusammenfassung der neueren physikalischen Experimente und Berechnungen hat S. Arrhenius selbst mit gewohnter Meisterschaft gegeben.<sup>2</sup> Durch Arrhenius, ferner durch Rubens und Ladenburg ist die Fähigkeit der Kohlensäure die dunklen Wärmestrahlen in erheblichem Masse zu absorbieren, das heisst, durch die Verhinderung des Ausstrahlens der irdischen Wärme in den Weltraum das Klima der Erde in erwärmendem Sinne zu beeinflussen, ausser Zweifel gestellt worden.

Neuere geologische Untersuchungen beziehen sich auf die gleichmässig hohe Wärme der Triasperiode, auf das Klima der Kohlenbildung und vor allem auf die Eiszeit.

---

<sup>1</sup> Zeitschrift der Gesellschaft f. Erdkunde, Berlin 1902.

<sup>2</sup> Die vermutlichen Ursachen der Klimaschwankungen, in Meddelanden från K. Vetenskaps Akademiens Nobelinstitutet, Bd. I N.º 2 Stockholm, 1906.

Die wichtigsten Angaben über das Trias-Klima sind in der nachfolgenden Studie über die Trias-Zweischaler von Zacatecas enthalten. Im Folgenden sollen somit nur die Kohlenbildungen und das Klima der quartären Eiszeit kurz erörtert werden.

Bei der Zusammenfassung der Ergebnisse mag es aus Gründen der Uebersichtlichkeit gestattet sein, den wesentlichen Inhalt meines ersten Aufsatzes (1902) in aller Kürze zu wiederholen.

#### DAS KLIMA DER KOHLENBILDUNG.

Fossile pflanzliche Brennstoffe wie Steinkohle, Braunkohle und Torf sind im Verlaufe der Erdgeschichte stets nur in örtlicher und zeitlicher Beschränkung abgelagert worden. Das in der geologischen Vergangenheit vorherrschende gleichmässige Tropenklima war der Aufspeicherung des pflanzlichen Kohlenstoffes nicht günstig. Auch während der Tertiärzeit entsprechen, wie ich schon früher betonte, die geographischen Zonen der Kohlenbildung, klimatischen Zonen gemässiger (nicht tropischer) Wärme.

Das Klima der Steinkohlenbildung war durch Feuchtigkeit und gemässigte Wärme gekennzeichnet. Vielfach wurden in den Lehrbüchern die Perioden der Kohlenbildung als relativ warm bezeichnet; doch hat dem gegenüber schon M. Neumayr, neuerdings unter anderm auch Ramann den gemässigten Charakter des Steinkohlenklimas betont. Auch ich habe mich entschieden gegen ein „gleichmässiges Tropenklima“ der Steinkohlenperioden ausgesprochen: Kohlenschichten sind unter allen Umständen als Produkte eines im ganzen feuchten, gemässigten Klimas anzusehen. Die Thatsache, dass in der Gegenwart zwischen den Wendekreisen eine Anhäufung pflanzlichen Brennstoffes nirgends erfolgt, dürfte allein schon diese in neuerer Zeit häufig hervorgehobene Ansicht als richtig erweisen (Lethaea palaeozoica Bd. 2 pag. 625).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Ich habe die verwickelten geographischen und stratigraphischen Verhältnisse des Carbon in dem die Steinkohlenformation behandelnden Kapitel der Lethaea palaeozoica, die klimatologische Entwicklung der gesamten jungpalaeozoischen Perioden dagegen, in dem Dyas Abschnitt zusammenhängend dargestellt. Es hat den Anschein,

Auch die nach der carbonischen Steinkohlen-Periode in der Südhemisphaere gebildeten Flötze, welche der Dyas- und Triaszeit angehören, sind unter der Herrschaft eines gemässigten, z. Th. sogar in einem kaltgemässigten auf die palaeozoische Eiszeit folgenden zum Absatz gelangt.

Die Mehrzahl der Kohlenflötze der dyado-triadischen Karroo- und Gondwana-Formation sind wie die Flötze des europäischen Carbon in Niederungen, Mooren, Sümpfen und vertorften Wäldern an Ort und Stelle gewachsen oder zum geringeren Theile in Seebecken zusammengeschwemmt worden.

Feuchtes Klima war Vorbedingung, gemässigte frostfreie Witterung jedenfalls am günstigsten, aber keineswegs nothwendige Voraussetzung.<sup>1</sup> Vielmehr könnten in der Karroo- und Gondwana-Formation, ähnlich wie nach der quartären Eiszeit Kohlenflötze auch unter der Herrschaft des Winterfrostes gebildet worden sein. Gleichzeitig mit dem Absatz der südlichen Dyas- und Triaskohlen haben sich auf der Nordhemisphaere die klimatischen und die sonstigen physikalischen Verhältnisse ungünstig für die Kohlenbildung gestaltet. Während im unteren Theile des deutschen Rothliegenden noch bauwürdige wenn gleich wenig mächtige Flötze vorhanden sind, nimmt nach oben zu die Kohlenführung immer mehr ab und hört schliesslich ganz auf: Kohlen fehlen im oberen Rothliegenden, Zechstein, Buntsandstein und Muschelkalk.

Man könnte auf den Gedanken kommen, dass der Reichtum an Pflanzennährstoffen, vor allem das durch die Zersetzung der Feldspathe im Bereiche der carbonischen Hochgebirge freiwerdende Kali, allmählig zurückging; Hand in Hand mit dieser Verarmung nahm das Klima allmählig einen steppenartigen Charakter an. D.h. wir haben mit einer Hochsteppe zu rechnen, in welcher Cañonbildung, Wildbäche und grosse Seen—wie in ähnlichen Gebieten des heutigen Vorderasien und Westamerika—grosse Bedeutung beanspruchten.

---

als ob Solger (Zeitschrift d. Ges. f. Erdkunde Berlin 1905 pag. 711 ff.) diese meine klimatologischen Darlegungen nicht berücksichtigt, sondern voraussetzt, ich sei ein Anhänger der tropischen Entstehung der Kohlenflötze. Solger tritt für ein gemässigttes Klima der Steinkohlenbildung ein und sachlich dürfte somit keine Verschiedenheit in den Auffassungen bestehen.

1 *Lethaea palaeozoica* II pag. 625.

Ein "Wüstenklima" hat jedoch zur Zeit der älteren Dyas oder des Buntsandsteins in Europa nicht bestanden, wie schon die ausgedehnten dyadischen Binnenseen mit ihrer reichen Fisch- und Lurchfauna beweisen. Ferner sprechen die *Conglomerate* mit ihren im Wasser abgerollten Geschieben und der oft mehrere hundert Meter erreichenden Mächtigkeit für das Vorhandensein von Wildbächen und reissenden Flüssen während der Epochen des Rothliegenden und des Buntsandsteins.

Erst lange nach dem Rothliegenden, am Schlusse der Zechsteinepoche trocknete das nordische, bis nach Mitteldeutschland vordringende Meer unter der Herrschaft eines reinen Wüstenklimas aus. Es wurde also nicht, wie es Solger annimmt,<sup>1</sup> die Steinkohlenbildung in Europa durch Wüstenerscheinungen verdrängt. Vielmehr liegt die ausserordentlich lange, durch mannigfache Erosionserscheinungen und Massenausbrüche auf dem Festlande, ferner durch eine Meerestransgression ausgefüllte Periode der älteren und mittleren Dyas zwischen der europaischen Steinkohlenformation und der in einem Wüstenklima erfolgenden Bildung der mittel- und norddeutschen Salzlager (mittlerer und vor allem *oberer Zechstein*).

Zeitlich ist somit die Steinkohlenformation und die Wüstenepoche in der Nordhemisphaere durch einen langen Zeitraum getrennt, während dessen klimatische Extreme nicht festzustellen sind.

Aehnliche Ereignisse wie am Schluss der palaeozoischen Aera vollziehen sich am Ende des Tertiärs. Doch fehlt in der jüngeren Vergangenheit Europas (s.u.) eine Wüstenperiode. Während der jüngsten Dyas folgt in der Nordhemisphaere die mit einem erneuten Temperaturniedergang verbundene Wüstenzeit auf die langsam erlöschende Bildung der Steinkohlenflötze. Genauer stellt sich die Entwicklung folgendermassen dar: Steinkohlenbildungen fehlen im mittleren Rothliegenden Europas so gut wie gänzlich und im oberen Rothliegenden völlig.

Der *untere Zechstein* entspricht dem Vordringen, der mittlere dem Beginn des Austrocknens des nordischen Meeres. Erst während der Zeit des oberen Zechsteins herrscht in Nord- und

---

<sup>1</sup> Zeitschr. d. Ges. f. Erkunde, Berlin, 1905.

Mitteleuropa reines Wüstenklima ohne eine Spur von Pflanzen und mit ganz spärlichen Resten thierischen Lebens.

Auch am Schlusse des Tertiärs hört in Europa die Bildung der Braunkohlen auf und erst dann folgt die Eiszeit, welche einer Temperaturverminderung von circa 4% entspricht.

Doch ist die Klimaentwicklung während der Tertiärzeit nicht so einfach und übersichtlich gestaltet wie am Schlusse der palaeozoischen Aera. Hier folgt nach der *Steinkohlenbildung* der Nordhemisphaere mit ihrem langsam abnehmenden Flötzreichtum: 1) die Eiszeit welche der unteren Dyas entspricht, später ereignen sich: 2) die Massenausbrüche des älteren und mittleren Rothliegenden (Bozen, Schlesien, Sachsen, Böhmen, Nahegebiet etc.); sie bedingen das Aufhören der Eiszeit: 3) das Nachlassen und Aufhören der Eruptivthätigkeit kennzeichnet den Schluss des Rothliegenden. Die darauffolgende Verminderung des Kohlensäuregehaltes der atmosphärischen Luft bedingt endlich ganz am Schlusse der palaeozoischen Aera: 4) das erneute Herabgehen der Wärme (man denke an die arktische Transgression des europaeischen Zechsteinmeeres).

Im Allgemeinen ist eine zeitliche Verknüpfung der Kälteperioden mit den Epochen der Kohlenbildung nur insofern wahrnehmbar, als klimatische Extreme positiver oder negativer Art für die Aufspeicherung des fossilen Brennstoffes überhaupt nicht in Betracht kommen: weder an den Polen noch zwischen den Wendekreisen werden gegenwärtig Torf- oder Flötzlager gebildet. In den Tropen wird das massenhaft wachsende Holz in grösster Geschwindigkeit wieder oxydirt, in hocharktischen Gebieten fehlt es überhaupt an jeder Unterlage für die Kohlenbildung.

#### DIE GEOGRAPHISCHE VERBREITUNG DER QUARTÄREN SÄUGETHIERE ALS BEWEIS FÜR DIE EINHEITLICHKEIT DER EISZEIT.

Die Bewerthung der Schichtenfolgen in denen Moränen mit Schottern oder fluvio-glacialen Sanden wechseln, wird nach dem Standpunkt des Beobachters eine sehr verschiedene sein.

Der eine Forscher wird dazu neigen, die nicht vom Eise direkt gebildeten Sande oder Lehme als Anzeichen eines tief ein-

greifenden Klimawechsels, einer "Interglacialzeit", zu deuten, der andere wird einen Wechsel von Moränen und Schmelzwasserbildungen als Anzeichen einer untergeordneten Schwankung, einer "Oscillation" des Eisrandes auffassen. Jedenfalls steht soviel fest, dass die Umwandlung eines kalkreichen Schotters zu fester Nagelfluh, die Ueberführung von Moosen und Stämmen in torfartige Bildungen, die Aufschüttung des Steppenstaubes und die Bildung des Lösses vor unseren Augen erfolgt und unter günstigen Vorbedingungen nur geringe Zeiträume erfordert. Doch soll von all diesen Fragen und den anknüpfenden Controversen über die Bedeutung interglacialer oder intramoränischer Profile hier nicht die Rede sein, nur sei daran erinnert, dass die Ansichten über die Zahl der Eiszeiten bei den verschiedenen Forschern je nach der Lage ihres Forschungsgebietes von jeher die grössten Schwankungen (zwischen einer und sechs Eiszeiten) durchgemacht haben. Auch die neuesten, in Südamerika und der Antarktis gesammelten Beobachtungen sprechen für die Anschauung, dass die Frage der Zahl der Vereisungen ein Problem von lokaler, nicht aber ein solches von universaler Bedeutung darstellt. Uebereinstimmend wiesen Hans Meyer für Ecuador,<sup>1</sup> Hauthal für Argentinien<sup>2</sup> und Norden-skjoeld für Südgeorgien das Vorhandensein einer zweimaligen Vereisung nach. Besonders klar und unzweideutig sind die von Hauthal im Cordilleregebiet Argentinens gesammelten Beobachtungen, welche eine zweimalige starke Vergletscherung des heutigen ganz schneefreien Gebirges ergeben; die erste Vergletscherung reichte bis 5,500-5,200, die zweite bis 4,500 abwärts; die drei von der Steinmannschen Expedition in Ostbolivia beobachteten eiszeitlichen Phasen werden als Rückzugsphasen der letzten Glacialperiode gedeutet. Jedenfalls stimmen diese zwei äquatorialen oder südlichen Vergletscherungen nicht mit den drei Eiszeiten Norddeutschlands und noch weniger mit den vier alpinen Vereisungen überein um von den sechs Eiszeiten Geikies zu schweigen. Der Nachweis eines lokalen Charakters der verschiedenen Eiszeiten, Phasen oder Stadien führt aber

---

<sup>1</sup> Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin, 1906, pag. 295.

<sup>2</sup> Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin, 1905, pag. 394.

mit Nothwendigkeit auf die einheitliche Beschaffenheit der Kälteperiode zurück. Von grösserer Bedeutung sind für die Eiszeit wie für die geologische Vergangenheit überhaupt die Schlüsse, die aus der Entwicklung und Verbreitung der Thierwelt abzuleiten sind. Wenn sich nachweisen lässt, dass die aus Sibirien stammenden Mammuth und wollhaarigen Nashörner niemals nach Finnland und Skandinavien vordrangen, wenn die beiden beweglichen und widerstandsfähigen Thiere auch in Italien und Spanien fehlen, so würde sich hieraus der Schluss ergeben, dass die Finnoskandia<sup>1</sup> wie die Alpen und Pyrenäen von einem einheitlichen, während der Quartärperiode nicht verschwindenden Eismantel bedeckt waren.

Dann lässt sich weiter mit Sicherheit behaupten, dass nur das Vorland der Alpen einerseits, das baltische Becken und der nördlichste Teil Deutschlands andererseits, der Schauplatz von ausgedehnten Oscillationen der Eisrinde waren, dass aber die Vereisung der Centren einen einheitlichen Charakter getragen hat. Für Island ist durch Dr. von Knebel und isländische Forscher das Vorhandensein mindestens zweier Vereisungen nachgewiesen, Doch bedarf es keiner besonderen Beweisführung, dass eine klimatische Oscillation, wie sie während der Eiszeit im Vorland der Alpen oder nach der Eiszeit im Bereiche der Alpen eintrat (Achenseeschwankung, Bichlvorstoss) in einem so stark vergletscherten Lande wie Island selbstständige "Eiszeiten" hervorrufen musste. Die Frage der Eiszeit ist somit in gewissem Sinne ein Problem von geographisch beschränkter Bedeutung; bei präziser Fragestellung handelt es sich für Europa um die Frage, ob in Skandinavien und den Alpen während der Quartärzeit jemals ein Rückzug bis auf den heutigen Gletscherstand eingetreten ist?

Die thiergeographischen Thatsachen, welche aus Finnoskandia und den südlichen europäischen Halbinseln bekannt geworden sind, erscheinen nun vollkommen ausreichend, um die Frage nach der einheitlichen oder wiederholten Eisbedeckung Nordeuropas und der Hochgebirge mit Sicherheit zu beantworten. Der Schluss der Tertiärperiode, das Pliocän, wird durch

---

<sup>1</sup> Das heisst Skandinavien und Finnland.

eine allmähliche gleichförmige Abkühlung des Klimas gekennzeichnet und dem entspricht das Aussterben aller tropischen und subtropischen Tierfaunen in Europa. So erloschen die noch<sup>1</sup> vorhandenen *Macacus*, *Dolichopithecus*, das *Mastodon*, der Vorläufer der Elephanten, ferner der Tapir, *Hipparion* und die wenigen überlebenden Antilopen *Tragelaphus* und *Palaeoryx*, deren Nachkommen, die Busch- und Säbelantilopen jetzt das tropische Afrika<sup>2</sup> bevölkern. Vor Beginn der eigentlichen Eiszeit (d.h. im Altquartär) erlöschten die wenigen noch übrig gebliebenen europäischen Vertreter eines warmen Klimas, so vor Allem *Hippopotamus* (*H. major*), der Säbeltiger *Machcerodus*, *Rhinoceros Mercki*, der Nachkomme des pliocänen *Rhinoceros etruscus* und *Elephas antiquus*, der sich ebenfalls unmittelbar an den im mediterranen Pliocän verbreiteten *El. meridionalis* anschliesst, der vielleicht noch (bei Mortcaurès in den Pyrenäen) in die folgende Periode hineinragt. Man darf wohl annehmen, dass die erwähnten Dickhäuter dasselbe unbeharte Fell besessen haben, wie die lebenden tropischen Formen, während die arktischen Elephanten und Nashörner durch dichten Wollpelz und schwarze Mähnenhaare gegen die Kälte geschützt waren. Ein Vergleich der Behaarung der lebenden Elephanten und des *Hippopotamus* zeigt dass die letztere—rein tropische und amphibische Form—die Haare bis auf ganz geringfügige Reste an den Ohr- und Schwanzenden verloren hat. Die lebenden Elephanten, besonders der indische, besitzen dagegen abgesehen von der langen als Fliegenwedel dienenden Schwanzquaste noch eine immerhin sichtbare Behaarung in der Bauchregion und auf dem Rücken, d.h. dort wo das Wälzen im Schlamme den Haarwuchs am wenigsten beeinträchtigte. Es ergibt sich somit sogar aus der Betrachtung der lebenden Rüsselthiere, dass bei diesen noch am ehesten die Möglichkeit einer Ausgestaltung des Haarkleides vorhanden ist. Es erscheint also einigermassen verständlich, dass sich bei dem verwandten Mammuth, dem Bewohner des Polarkreises, ein Wärmeschutz

---

1 Im mittleren Tertiär waren u. a. noch anthropomorphe (*Dryopithecus*) und ostindische Formen (*Semnopithecus*) in Europa heimisch.

2 Z. B. *Tragelaphus gratus* in Westafrika, *Oryx leucoryx*, *O. beisa*, u. a. vorwiegend im Osten des Continents, und in Arabien *O. beatrix*.

entwickeln konnte, der wohl das vollkommenste darstellt, was die Landthiere der Gegenwart und der Vorzeit besessen haben.

Dieser hoch specialisirte Mammuth-Pelz konnte sich nicht in dem gemässigten Klima Europas entwickeln, und mit dieser physiologischen Erwägung stimmt das massenhafte geographische Vorkommen nahe dem nördlichen Kältepol auf das Beste überein.

EISBODEN UND BODENEIS IN NORDSIBIRIEN; FEHLEN JEDER  
VERGLETSCHERUNG IN SIBIRIEN.

Der Umstand, dass das Mammuth in Europa das "Wahrzeichen" der Eiszeit ist, aber erst lange nach dem Verschwinden der alpinen und skandinavischen Eismassen ausstirbt, schien auch für Sibirien ein jüngerer Alter des Thieres zu verbürgen. Ferner hatte die Thatsache der Vergletscherung ausgedehnter Theile der Nordhemisphäre die Auffassung einzelner Forscher offenbar so suggestiv beeinflusst, dass sie auch in Nordsibirien eine Vergletscherung annehmen zu müssen glaubten. Hierfür spricht—abgesehen von der niedrigen Temperatur—allein die Thatsache, dass Baron Toll an den Ufern des Anabara geschrammte Geschiebe gefunden hat. Gegen die Annahme eines nordsibirischen Landeises spricht die Trockenheit, d.h. der Schneemangel sowie das ebenfalls von Toll und Bunge<sup>1</sup> festgestellte Fehlen aller gegenwärtigen Gletscher und früheren Gletscherspuren in dem bis 2000 m hohen Werchno. Die von Toll gefundenen geschrammten Geschiebe sind mit grösserer Wahrscheinlichkeit auf den Eisgang des Flusses Anabara zurückzuführen, in dessen Thalalluvionen sie bisher ausschliesslich nachgewiesen sind, während alle höheren und niederen Gebirge keine Gletscherspuren zeigen. Gerade die Anabara fliesst ausschliesslich durch flache Tundren und der Gletscherhypothese steht das Fehlen jeder Vereisung an der Lena und ihren 2000 m. hohen Gebirgen entgegen. Sieht man nun von den Hypothesen einer Vergletscherung Sibiriens ab<sup>2</sup> so muss man den

1 Nach freundlicher mündlicher Mittheilung.

2 Vergleiche besonders A. v. Bunge, Zur Bodeneisfrage. Verh. K. Russ. Min. Ges. 1902, pag. 204, St. Petersburg.

Mammuthfunden ein wesentlich höheres d.h. ein frühquartäres oder spätertertiäres Alter zuerkennen. Die Entwicklung der circumpolaren, den Bedingungen der Winterkälte angepassten Thierwelt erfolgte in der zweiten Hälfte der Pliocänzeit,<sup>1</sup> als die allgemeine Wärme der Erde immer weiter sank, und die Polargebiete wie die Hochgebirge sich mit Eis bedeckten.

Die Frage der Entstehung des Bodeneises in Sibirien hängt mit dem klimatischen Problem des Quartärs der Nordhemisphäre eng zusammen. Wenn wirkliche Gletscher oder Landeismassen auch in den gebirgigen Theilen gefehlt haben, wie konnten sich die z.T. recht mächtigen Anhäufungen von Eis im Boden bilden?

Wir folgen bei der Beantwortung der Frage dem hochverdienten Alexander von Bunge, der auf Grund langjähriger Reisen sowohl das Versinken von Mammuthen in Schneewehen wie die Bildung von eiszeitlichen Gletschern in Sibirien für ausgeschlossen erachtet. Mammuthknochen in grösserer Zahl finden sich vornehmlich, Mammuthkadaver in eingefrorenem Zustand *ausschliesslich* in den alten *Alluvialbildungen sibirischer Flüsse*,<sup>2</sup> die deutlich geschichtet sind und sich durch die dunkle Farbe der z.T. humösen, *sandigen gefrorenen Flusssedimente (Eisboden)* auf den ersten Blick von dem *ungeschichteten Bodeneis* unterscheiden. Letzterem sind keine Flusssedimente beigemischt und es fehlen auch fossile Knochen oder Kadaver vollkommen. Das *Bodeneis* ist vielmehr im Gegensatz zu dem gefrorenen Alluvium gefrorenes Grundwasser, das im Frühling in die Spalten des gefrorenen Bodens eindringt und hier gefriert.

Das Grundwasser dringt nicht wie in gemässigten Zonen überall in den Boden ein, sondern sammelt sich in den Spalten, die in Folge der Temperaturschwankungen des Frühjahrs den Boden zerklüften und durchaus vergleichbar sind den Rissen, die im Vorfrühling das Eis unserer Seen und Teiche durchziehen. A.v. Bunge hat (vergleiche Abbildung) diese Spalten auf der Ljachow-Insel photographirt, er beschreibt das Donnern, das in stillen Nächten beim Aufreissen die Luft durch-

1 Vergleiche F. Frech, *Lethaea Kaenozoica*, Quartär, pag. 18.

2 Vergleiche A. v. Bunge.

bebt und die Ströme des Schmelzwassers, das unter Brausen und Rauschen in diesen Spalten auf Nimmerwiederkehr verschwindet. Dieses Schmelzwasser der Oberfläche gefriert in der Tiefe; denn wenn auch der Boden Nordsibiriens nicht so tief gefroren ist wie man nach dem Bau des bekannten Schachtes bei Jakutsk annahm, so reicht doch der Frost im Winter und Sommer bis auf 20 oder 25 m. hinab.

Das Bodeneis stellt also *Spaltenausfüllungen innerhalb des ursprünglichen Eisbodens* dar und zeigt die Tendenz diesen zusammenzudrücken und theilweise zu verdrängen. Eine mir vorliegende Photographie A.v. Bunes zeigt das ungeschichtete Bodeneis, die Infiltration in den Eisboden und die starke Zusammendrückung, die dieser letztere im Verlaufe der Jahrtausende erfahren hat.

Andere Bilder von der Ljachow-Insel und der Jana lassen erkennen wie in dem Boden Sibiriens und Neusibiriens das Bodeneis unter Umständen den Boden vollkommen verdrängen kann.

Dadurch, dass auf dem von A.v. Bunge beobachteten und illustrierten Wege das Wasser der Erdoberfläche und dem Luftmeer unausgesetzt entzogen wird, dadurch dass dieser Process sicher seit der quartären Eiszeit, wahrscheinlich aber schon seit dem Jungtertiär (Pliocän) in Sibirien andauert, wird das atmosphärische Wasser unausgesetzt durch Gefrieren festgelegt. Das ursprünglich trockene und continentale Klima hat also eine successive Austrocknung erfahren, die noch fortschreitet und sich immer weiter steigert.

Nehmen wir an, dass Eisboden und Bodeneis schon im Jungtertiär gebildet wurden, so erklärt dieser Umstand neben dem Fehlen höherer Gebirge und ursprünglich trockenen Klimas die Abwesenheit jeder Gletscherspuren in Sibirien. Die Bodeneisbildung—wie sie A.v. Bunge definirt und begründet—stellt demnach für arktische Alluviae- und Verwitterungsböden einen geographisch und erdgeschichtlich ausserordentlich wichtigen, bisher wenig beachteten Faktor dar.

DIE VERBREITUNG UND DIE WANDERUNGEN DER QUARTÄREN  
SÄUGETHIERE.

Nach Ausschaltung der hypothetischen Gletscherbedeckung des nordöstlichen Sibiriens lässt sich somit eine frühquartäre vielleicht eine jungtertiäre Entstehung der arktischen Mammuthfauna im nordöstlichen Sibirien annehmen. Jedenfalls gilt dies nach Al. v. Bunge für die wohlgeschichteten gefrorenen Ablagerungen der Ljachow-Insel, welche einen Theil der ehemaligen Deltabildung der Lena und Janamündung bilden; die Ablösung der südlichsten der neusibirischen Inseln vom Festlande erklärt sich durch ein Steigen des Meeresspiegels; in Folge dessen wurde das alte Delta der Lena und Jana in eine Inselgruppe umgewandelt. Auch der vor wenigen Jahren von Herz an der Beresowska einem Nebenflusse der Colyma geborgene Mammuthkadaver stammt aus den geschichteten Ablagerungen der den Fluss begleitenden Alluvialterrasse, und dürfte somit vielleicht etwas jünger sein als die Funde der Ljachow-Insel.<sup>1</sup> Die erhebliche Verschiebung der Land- und Meeresgrenzen im Mündungsgebiet der Jana und Lena, spricht ebenso für ein hohes Alter des geschichteten Eisbodens von Nordostsibirien, wie die enorme Verbreitung, die *Elephas primigenius* in drei Welttheilen hat: von Nordsibirien, wo die Reste am zahlreichsten vorkommen, verbreitet sich das Mammuth zusammen mit dem Bison nach Alaska, British Nordamerika, Colorado, Oregon, Californien, Texas, Florida, Mexiko und Nicaragua. In Kentucky stiess der altweltliche Proboscidier mit dem längst in Amerika heimischen Mastodon zusammen, das offenbar eine weitere Ausdehnung nach Osten hinderte. In Asien reicht die Verbreitung des Mammuths, das hier stets von dem Bison und dem wollhaarigen Nashorn begleitet wird, über den Baikalsee und Altai bis zum Kaspischen Meere und weiter in das europäische Russland, die Dobrudscha und Ungarn einerseits nach Oesterreich, Deutschland, Frankreich und das nördlichste Spanien (Santander) und Piemont anderseits.

<sup>1</sup> Ueber den wichtigen Fund des Hertzschen Mammuth liegt leider nur ein in russischer Sprache (ohne deutschen oder französischen Excerpt) abgefasster Bericht vor: Verh. K. Russ. Min. Ges. 40, 1903, pag. 415 (St. Petersburg).

Die an Stelle des heutigen Aernfelmeeres bestehende Landverbindung gestattete den Uebergang auf die damalige britische Halbinsel, andererseits verhinderte die Vergletscherung der Pyrenäen den Uebergang nach Catalonien und die weitere Verbreitung nach Süden. Das einzige Vorkommen des Mammuth auf der iberischen Halbinsel liegt bei Santander, d.h. an der Küste der Bay von Biskaya, hingegen scheinen einzelne Mammuthreste ostwärts von Südfrankreich längs der Riviera vorgegedrungen und nach Ueberschreitung der unvergletscherten Appenninen nach Piemont gelangt zu sein. Doch dürfte auch das einzige von A. Portis<sup>1</sup> anerkannte Vorkommen des *El. primigenius* in Italien postglacial sein.

Die zahlreichen meist als *El. primigenius* bezeichneten Proboscidierreste der römischen Campagna gehören, wie A. Portis wiederholt betonte und wie ich nach Untersuchung des römischen Materials nur bestätigen kann, ausnahmslos zu dem südlichen *Elephas antiquus*. Ferner fehlen im Süden der Alpen und Pyrenäen die mannigfachen arktischen Thiere von geringer und mittlerer Grösse, die nur bis an den Nordrand dieser Gebirge gelangt sind, so die arktischen Halsbandlemminge *Dicrostonyx torquatus*, der Schneehase, Eisfuchs, Vielfraß und vor allem der Moschusochse und das Renthier in seinen beiden Varietäten.

Alle diese Bewohner des Polarkreises sind ebenso wenig wie Mammuth und *Rhinoceros antiquitatis* bis in das eigentliche Spanien oder während der Eiszeit bis Italien gelangt: das ist der beste Beweis dafür, dass Alpen und Pyrenäen eine einheitliche, nicht eine periodisch abschmelzende Eisdecke trugen.

Wie auf den südeuropäischen Halbinseln, fehlt auch in Skandinavien das Mammuth und das wollhaarige Nashorn gänzlich, während aus Finnland nur seltene Reste postglacialen Alters vorliegen. Auch in Esthland und Livland wurden nur ganz vereinzelte Funde der eiszeitlichen Riesen gemacht; erst in Kurland wird das Mammuth häufiger. Während also der Eiswall der Pyrenäen und Alpen die ganze Kälteperiode über-

<sup>1</sup> Boll. Soc. Geol. Italiana, 1898, pag. 29; 1898, pag. 324; 1902, pag. 110; 1903, pag. 448.

dauerte, blieben Skandinavien und Finnland unter einem niemals abschmelzenden Landeis begraben. Das Fehlen der kälteliebenden Mammuth und Nashörner im Norden von Europa ist der beste Beweis gegen die Hypothese der Interglacialzeiten. Für den vereinzelt und zweifelhaften Mammuthfund bei Turin bleibt die Wahrscheinlichkeit übrig, dass die Einwanderung erst nach dem Zurückgehen der Gletscher erfolgt ist. Denn das Vorkommen weist auf das Alluvium der Poebene hin.

Man könnte endlich noch darauf hinweisen, dass das Mammuth nur in sehr beschränktem Maasse (nach Finnland und Piemont) während der Nacheiszeit Wanderungen ausführte, und dass sich hierdurch auch seine geringe Ausbreitung während der Interglacialzeiten erkläre. Doch fallen diese geringfügigen postglacialen Vorstösse ungefähr mit dem endgültigen Aussterben der Mammuth und Rhinoceroten zusammen. Zu einer grösseren nordwärts gerichteten Wanderung waren die durch die lange Dauer der Eiszeit geschwächten Reste der nördlichen Riesen wohl nicht mehr fähig, umsoweniger als die Pflanzendecke die vom Eise soeben verlassenen Gebiete nur langsam von neuem besiedelte.

Auf den südlichen Halbinseln ist aber nach der Eiszeit eine über die heutige Temperatur hinausgehende Wärmesteigerung erfolgt, wie die bedeutenden Schwankungen der alpinen Thal-gletscher (Penck) und ferner das Auftreten einer der Gegenwart vorangehenden Eichenzeit<sup>1</sup> in der Hohen Tatra beweist.

In der Nacheiszeit herrschten also Vegetations- und Wärmeverhältnisse, die für eine weitere Verbreitung der nördlichen Thiere ganz besonders ungünstig waren. Während der 2 bis 5 von den verschiedenen Autoren angenommenen Interglacialzeiten hätte dagegen eine nach Norden oder nach Süden gerichtete Wanderung der Mammuth etc. stattfinden müssen. Dass sie nicht erfolgte, spricht für die Einheitlichkeit der Eiszeit.

Dass an und für sich auch im Mittelmeergebiet während der Eiszeit die Wärme abnahm, beweist am besten das bekannte Vordringen arktischer Meeresmollusken bis Sicilien (Palermo)

---

<sup>1</sup> Die Klimaentwicklung: 1) Eiszeit; 2) wärmere Eichenzeit; 3) erneute der Gegenwart entsprechende Abkühlung (Kiefernzeit) entspricht in den Grundzügen demnach der norwegischen.

und Rhodos. Während also das Meer den Wanderungen dieser nordischen Formen kein Hindernis entgegen setzte, fanden die Landthiere auf ihrem Wege nach Süden die Schranken der dauernd vergletscherten Gebirge, welche selbst für die Bewohner des Polarkreises unübersteiglich waren.

Abgesehen von der Verbreitung der Landsäugethiere und dem gleichzeitigen Vorkommen nordischer Gäste im Mittelmeer, hätten ferner die Interglacialzeiten die Entstehung neuer Säugethierarten bedingen müssen, da ausgedehnte Gebiete der Einwanderung der Landthiere der Nordhemisphäre neu erschlossen wurden. Nun enthalten aber die sämtlichen *interglacialen Fundorte* lediglich Reste von *Thieren*, die schon *vor der Eiszeit* oder solcher, die auch *nach derselben* bekannt sind. In der postglacialen Zeit differenzirt sich wenigstens hier und da noch eine grössere Thierform (so der europäische Wisent und das Waldrenthier), trotzdem der Mensch auf die Zurückdrängung und Ausrottung der grossen Landsäuger hinarbeitet. Nur den "*Interglacialzeiten*" gehört *keine einzige selbständige Thierspecies* an.

Die arktischen Riesenformen, das Mammuth, das wollhaarige Rhinoceros, der Riesenhirsch und Ovibos sterben gänzlich oder in Europa aus, sobald nach dem Schlusse der Eiszeit die Temperatur steigt. Besonders bezeichnend ist das Ausweichen und das späte Erlöschen des Riesenhirsches in Irland, sowie der Rückzug des Moschusochsen aus Europa und Nordasien.

Die Erhaltung einzelner Thierformen hängt ab von der Möglichkeit einer Rückwanderung in arktische Gebiete (Tundrenen, Moschusochs im arktischen Nordamerika und Groenland) oder in die Hochgebirge (Gemse, Steinböcke). Andererseits passen sich andere Thiere den veränderten Wärmeverhältnissen an, so stammen das skandinavische Waldren und das Woodlandcaribou ebenso von den Formen der arktischen Moossteppe ab wie der europäische Waldwisent.

Bemerkenswerth ist die *geringfügige* durch *die Eiszeit* bedingte Mischung der Faunen verschiedenen Alters in *Nordamerika*. Eine Wiederholung der durch "Eiszeiten" getrennten "*Interglacialzeiten*" hätte die älteren südlichen Säugethiere

Nordamerikas<sup>1</sup> in ganz anderer Weise mit den arktischen Gästen mischen müssen als es thatsächlich geschehen ist.

Thatsächlich ist nun in Nordamerika eine absolut regelmäßige Zunahme der ursprünglichen, einheimischen Elemente nach Süden zu nachweisbar, während im hohen Norden ganz ausschliesslich die der alten und neuen Welt gemeinsame periarktische (circumpolare) Säugethierwelt auftritt.

Bezeichnend ist vor allem die Verbreitung der verschiedenen zu den Lemmingsen und Wühlmäusen gehörenden Gattungen der neuen und alten Welt.<sup>2</sup> Die wichtigeren in beiden Hemisphären verbreiteten Formen sind entweder wie *Arvicola* und *Microtus* eurytherm, oder aber wie die Lemminge (*Lemmus*, *Dicrotomyx*) und wie *Phenacomys*,<sup>3</sup> *Lagurus* auf boreale Gebiete beschränkt. Von den auf die alte Welt beschränkten Gattungen sind zwei in China,<sup>4</sup> drei in Centralasien<sup>5</sup> heimisch, d.h. in Gegenden die durch den Steppengürtel der Lössentwicklung zur Quartärzeit im Norden abgetrennt wurden und somit ausserhalb des Bereichs eiszeitlicher Thierwanderungen standen. Auch die auf Amerika beschränkten Gattungen sind hier entweder allgemein verbreitet d.h. von der Wärme ziemlich unabhängig<sup>6</sup> oder aber es sind südliche Lokalformen;<sup>7</sup> niemals finden sich für arktische oder boreale Gebiete eigenartige Gattungen. Vielmehr gehört z.B. *Microtus sitkensis*, Merriam<sup>8</sup> von Sitka (Alaska) gerade zu einer europäischen Gruppe von *M. ratticeps*.

Vergleicht man die Gesamtheit der lebenden hocharktischen Fauna Nordamerikas mit der nordsibirischen, so treten uns nur zwei specifisch asiatische Formen, die Saigaantilope und der Tiger-abgesehen von dem ausgestorbenen Mammuth und dem Rhinoceros-entgegen. Insbesondere zeigt ein Rückblick

1 D. h. die aus dem Mittelmiocän, Obermiocän und Pliocän stammenden Elemente der Säugethierfauna.

2 G. S. Miller. Genera and Subgenera of voles and lemmings. Northamerican fauna N.° 12, 1896, besonders pag. 9.

3 Die nordamerikanische boreale Gattung glaubte Nehring in einer Form der altquartären Forestbeds in Croma wieder zu erkennen, *Dicrotomyx* Gloger 1841 ist die älteste Gattungsbezeichnung für den Halsbandlemming *Myodes torquatus* Pall.

4 *Eothenomys*, *Antelionomys*.

5 *Phalomys* in den Hochplateaus Centralasiens, *Alticola* im Himalaya, *Hyperacrius* in Kaschmir.

6 So vor allem die Moschusratte (Nordamerika nördlich von der Südgrenze der Vereinigten Staaten), Miller l. c. pag. 71.

7 Neofiber in Florida, *Padomys* in den Centralstaaten.

8 Northamerican Fauna N.° 17 (1900 pa. 43).

auf die altquartäre Thierwelt der neusibirischen Inseln wie gleichmässig die Vertheilung der dem hocharktischen Klima angepassten Thierwelt rings um den Pol gewesen und geblieben ist. Andererseits sind amerikanisch nur die erwähnten Nager und das Stinkthier (*Mephitis*). Die sonstigen Formen des hohen Nordens Lemminge und Ziesel, Schneehase, Eisfuchs, Vielfras, Wiesel, die braunen oder grau gefärbten Bären, Elch und Ren sind durch idente oder nahe verwandte vicariirende Arten auf beiden Seiten des Pacific vertreten; die Existenz eines quartären Behringslandes kann also keinem Zweifel unterliegen. Erst 15 Breitengrade weiter südlich von Alaska und der Hudsonbai wird der americanische Character der Fauna erheblich verstärkt. Das in einer der ersten Lokalmonographien biologisch geschilderte Gebirgsland<sup>1</sup> entspricht ungefähr der Südgrenze der Verbreitung der borealen Säugethiere wie Ren, Elch und Vielfras. Andererseits finden sich erst hier die als nordamerikanisch bekannten Typen der Raubthiere, wie der amerikanische Fuchs (*Taxidea*) der Waschbär, die Stinkthiere (*Mephitis* und *Spilogale*) und der Puma (*Felis concolor*), der virginische und der Langohrhirsch (*Odocoileus virginianus macrurus* und *macrotis*) und die vielhörnige amerikanische Antilope (*Antilocapra americana*) deren einzige bekannte Beziehungen auf das Jungtertiär Süd- und Vorderasiens hinweisen (*Sivatherium*, *Bramatherium*, *Urmiatherium*). Auch die amerikanischen Nager, besonders die Taschenmäuse und Kängururatten<sup>2</sup> zeigen hier bereits eine merkliche Zunahme. Noch weiter südlich und östlich erscheinen die amerikanischen Beutelhüner (*Didelphys*), deren allgemeine Verbreitung auf der Nordhemisphäre allerdings dem älteren Tertiär angehört,<sup>3</sup> ferner die Baumstachelschweine (*Erethizon*) und die Nasenbären (*Nasua*) nebst ihren Verwandten.<sup>4</sup>

Die Verbindung von Asien und Amerika im Gebiete des Behringsmeeres hat zwar schon während der Tertiärzeit bestanden,

1 Northamerican Fauna N.° 5, Washington 1891. Biological reconnaissance of Southern Idaho.

2 *Dipodops*, *Hesperomys*, *Onychomys*, *Thomomys*, *Perognathus*.

3 *Oligocin* (Pariser Gyps) bis Untermiocän.

4 *Cerculeptes* Illig., *Bassariscus* Wagl., *Bassaricyon* Allen; auch fossil sind der Nasenbär (*Nasua*) und der Waschbär (*Procyon*) nur aus Südamerika bekannt.

aber nur dem gelegentlichen Austausch einzelner Säugethierformen gedient. Immerhin werden wir die Thierwanderungen mit grösserer Wahrscheinlichkeit hierher und nicht in das nordatlantische Festland verlegen müssen: letzteres war in der zweiten Hälfte der Tertiärzeit der Schauplatz enormer vulkanischer Massenausbrüche, deren erstarrte Laven noch jetzt grosse Theile des nördlichen Grossbritannien bedecken sowie die früher zusammenhängenden Faröer und Island so gut wie ausschliesslich zusammensetzen. Ueber das Behringsland wanderten wahrscheinlich die Tapire und später die Mastodonten<sup>1</sup> nach Amerika, die amerikanischen Verfahren der lebenden Pferde und Tylopoden aber nach Asien.<sup>2</sup> Im allgemeinen lag die Landbrücke ungünstig, da das vorschreitende Sinken des Klimas und die Nähe des Kältepol's gerade die nordöstlichen Gebiete Asiens unwirthlich machte. Dringen wir von Nordostasien aus weiter in das Innere der grossen Continente, so begegnen wir einem immer grösser werdenden Procentsatze einheimischer Formen.

Das gilt für die Gegenwart so gut wie für die Vergangenheit. Die Höhlenfauna des Altai umfasst z.B. ausser dem centralasiatischen Schneeleoparden (*F. uncia*), die Höhlenhyänen, den Dachs (*Meles*) Riesenhirsch und Urstier (*Bos primigenius*), also sämtlich Formen südwestlichen Ursprungs.

Noch bezeichnender für einen weiter zurückliegenden Zusammenhang der Continente auf der Nordhemisphäre ist endlich die nur mit Hilfe der Geologie verständliche Verbreitung der Tapire, der Beuteltiere und der Riesensalamander: *Cryptobranchus japonicus* van der Höven, in Japan, der nordamerikanische Kiemensalamander *Menopoma alleghaniense* Harlan in Pennsylvanien und Virginien und drittens der süddeutsche, einst als "Homo diluvii testis" gedeutete miocäne Riesensalamander *Andrias* (oder *Cryptobranchus*) *Scheuchzeri* Tschudi führen uns bereits in die zur Zeit des obersten Miocän bestehende Einheitlichkeit der nordhemisphärischen Landmassen zu-

<sup>1</sup> Die Mastodonten erscheinen in ganz Europa und dem mediterranen Gebiet im Mittelmiocän, in Ostasien und Nordamerika im oberen Miocän und Unterpliocän, in Südamerika im Oberpliocän. Diese Einwanderung erfolgte auf dem Wege des Antillenbogens.

<sup>2</sup> Die Tylopoden oder Cameliden entwickeln sich in zusammenhängender genealogischer Reihe vom Eocän an in Nordamerika und gelangen von dort während der Pliocänzeit sowohl nach Indien wie nach Südamerika.

rück, die bekannte Verbreitung der lebenden Tapire in Indonesien und Südamerika verweist sogar auf das Oligocän (Tapirus ist der nächste Verwandte des alttertiären *Anthracotherium*).

Das Auftreten der Beuterratten (*Didelphys*) reicht in Europa und Nordamerika noch weiter in das Alttertiär zurück (Unteroligocäner Pariser Gyps und Windriver Beds in Nordamerika). Mit einer beinahe mathematischen Regelmässigkeit erscheinen die Vertreter der früheren Landverbindung zwischen Nordasien und Nordamerika in immer südlicher gelegenen Gebieten:

1) die Ueberreste der gemeinsamen Alttertiär-Fauna sind tropisch (*Tapirus*) oder tropisch bis warm gemässigt; auch die amerikanischen Beutelthiere (*Didelphys*) besitzen ihre Hauptverbreitung im tropischen Südamerika.

2) in warm gemässigten (ohne Winterfrost) Gegenden erscheinen Ueberreste der jungmiocänen Zeit, so der Riesensalamander; auch die nordamerikanische Antilope (*Antilocapra*) ist zunächst verwandt mit dem indischen, längst erloschenen *Sivatherium*.

3) eine pliocäne Verbindung wird durch deutlich verschiedene aber zur gleichen Hauptgattung gehörige Raubthiere und Hirsche angedeutet, die in der kühleren gemässigten Zone (mit Winterfrost) auftreten. Im Pliocän wanderten ferner die Mastodonten in Nordamerika und die Vorfahren der Dromedare in Asien ein.

4) die letzte Verbindung von Nordamerika und Asien-Europa wird durch Lokalvarietäten derselben Hauptspecies (Elch, Biber) oder durch sehr nahe Verwandte Lokalarten (*Bison americanus*, *Bison bonasus*) angedeutet, welche während oder kurz vor der Eiszeit auswandern. Nur die eigentliche hocharktische Fauna mit dem Moschusochsen, dem Tundrenren, dem Schneewolf, dem Eisfuchs und den arktischen Eisvögeln ist noch jetzt einheitlich; die Riesenformen sind erloschen.

Den *nordamerikanischen Mammuthen* wurde nach der Eiszeit ein Rückzug in den sibirischen Norden durch die Entstehung des jungen Behringsmeeres abgeschnitten. Ein ganz *analoges Ereignis* vollzog sich im *Osten von Russland*. Hier bedingt das

Schmelzen der Eismassen eine gewaltige Anhäufung von Wassermassen und damit zunächst eine sehr erhebliche Erweiterung des Kaspi sowie ein Vordringen des arktischen Oceans bis weit nach Süden hin.

Auf der Landbrücke zwischen beiden Meeren d.h. im heutigen Gouvernement Wjatka entstanden Binnenseen und verwehrten dem Mammuth und dem *Rhinoceros antiquitatis* die Rückkehr in die jetzt wieder bewohnbar gewordenen Weidegründe Sibiriens. Trotzdem haben sich die beiden widerstandsfähigen arktischen Riesen noch lange in Europa behauptet. Davon legen die zahlreichen Mammuth- und Nashornreste Zeugnis ab, die in den Lössablagerungen wie in den weiten nacheiszeitlichen Flussthälern gefunden werden. Doch hat jedenfalls die Erhöhung der Temperatur auf die arktischen Gäste ungünstig eingewirkt. Sei es, dass die Widerstandsfähigkeit der wehrhaften Thiere gegenüber Raubthieren und Jägern während des heissen Sommers erlahmte, sei es dass die bei Proboscidiern und Nashörnern besonders empfindliche Fortpflanzungsfähigkeit, beeinträchtigt wurde, jedenfalls war für die arktischen einseitig specialisirten Riesen eine Anpassung an die veränderten Lebensbedingungen ausgeschlossen.

Ebensowenig wie die Dickhäuter konnte sich der Riesenhirsch mit seinem 3 m. klaffenden Geweih einem Leben im Walde anbequemen. Bei anderen Pflanzenfressern ist dagegen eine Anpassung an die veränderten Verhältnisse der Nacheiszeit unmittelbar zu beobachten. Das Renthier des nordöstlichen Sibiriens und des arktischen Nordamerika zeigt im Gegensatz zu dem Waldren Skandinaviens und dem Woodlandcaribou des borealen Nordamerika die Merkmale der Bewohner der waldfreien Tundra: sehr starkes Geweih-die Schutzwaffe gegen feindliche Angriffe, und geringere Körpergrösse als Folge der dürftigeren Nahrung. Bei den Waldthieren nimmt auf beiden Seiten des Weltmeeres die Grösse des im Unterholze hinderlichen Geweihes oder der Hörner ab: das Waldwisent Europas ist im Gegensatz zu dem massigen, breitstirnigen Bison der Eiszeit und der amerikanischen Prärien ein schmalstirnigeres, hochgebautes Thier, das die Anpassung an das Waldleben in seiner Körperform unmittelbar erkennen lässt.

## ERGEBNISSE.

Um die Uebersicht meiner früheren (1902) und der vorangehenden Studien über das palaeothermale Problem zu vereinfachen gebe ich zunächst (I) die Ergebnisse der früheren<sup>1</sup> und sodann (II) die der vorangegangenen Untersuchungen.

## I. EISZEITEN UND KLIMA DER GEOLOGISCHEN VORZEIT.

(NACH MEINER FRÜHERN DARSTELLUNG.)

1. Die Lösung des paläoklimatischen Problems, d. h. die Frage nach den Ursachen der Aenderungen des irdischen Klimas in der Vorzeit der Erde, beruht auf exakten geologischen und paläontologischen Forschungen. Auf der Untersuchung der Gerölle, also auf dem Nachweis der Kritzung und Politur bezw. auf der Feststellung eines pseudoglazialen Ursprungs beruht die Feststellung des Vorhandenseins und der Verbreitung von Eiszeiten. Weniger einfach und nur auf der Grundlage exakter Untersuchung der vorweltlichen Faunen und Floren beruht die Erforschung der klimatischen Schwankungen von geringerem Ausmass.

Ohne Berücksichtigung der rein geographischen Aenderungen ist eine Lösung der Rätsel nicht denkbar, welche uns das Klima der Vorzeit aufgibt. Doch kann diese Seite der Frage nur mit Hilfe zahlreicher Karten und eingehender geologischer Darlegungen erörtert werden und muss daher hier zunächst ausser Betracht bleiben. Andererseits würde jedoch eine noch so abweichende Verteilung der jetzt der Erde zukommenden Wärmemenge niemals die Tatsache erklären, dass in einer nur durch die Dauer einer geologischen Periode von der Eiszeit getrennten Zeitspanne bis zum 80° nördl. Breite hinauf ein warmgemässigttes Klima herrschte. Wir bedürfen somit eines Faktors, der in verhältnismässig kurzer Zeit die atmosphärische Wärme erheblich zu erhöhen oder zu erniedrigen vermag. Die Eiszeit oder

---

<sup>1</sup> Ausführlich in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde, Berlin 1902; zusammengefasst in Hettners Geographischer Zeitschrift 1905.

die Eiszeiten sind auf die umgekehrte Wirkung derselben Ursache zurückzuführen, welche auch höhere Temperaturen hervorzurufen vermag.

Eine allgemeine Erhöhung der irdischen Wärme muss auch die Aequatorialgegenden betreffen und es liegt der Gedanke nahe, das hier Hitzegrade entstehen könnten, bei denen alles organische Leben getötet wird. Allerdings ist in tropischen Wüsten, d. h. bei ungehinderter Sonnenbestrahlung, eine enorme Temperaturhöhe möglich. Sind doch in der nubischen Wüste bis zu  $72^{\circ}$  C beobachtet worden, und es ist wahrscheinlich, dass bei einer im allgemeinen höheren Erdwärme auch diese unheimliche Zahl noch überschritten werden kann.

Doch kommen die Wüsten für die Entwicklung des organischen Lebens überhaupt nicht in Frage; andererseits besitzen wir aus allen Abschnitten der Erdgeschichte, auch aus solchen mit höherer Durchschnittswärme, Beweise dafür, dass die Meere und Kontinente zwischen den Wendekreisen keine ausgebrannte oder ausgekochte Einöde bildeten. Abgesehen von tatsächlichen Beobachtungen lässt sich auch der theoretische Beweis führen, dass unter der Voraussetzung eines frostfreien Klimas an den Polen diese Temperatur-Erhöhung keine exzessiven Wärmegrade, keine kochenden Meere in einem tropischen Seeklima bedingt.

Jeder Wärmesteigerung folgt im feuchten Tropengebiet zunächst eine stärkere Verdunstung, d. h. die Bildung von Wasserdampf. Nach Erreichung des Sättigungsgrades der Luft wird jeder Ueberschuss in Wasser, d. h. in Nebel und Wolken umgesetzt. Der normale Wasserdampfgehalt der Luft ist schon jetzt zwischen den Wendekreisen bis zu einer Warmhaustemperatur gesteigert, d. h. bis zu einem Grade, bei dem der Mensch nicht mehr zu transpirieren vermag.

Durch Ausbreitung von Nebel und Wolken wird nun in jedem feuchten Tropenklima die Sonnenbestrahlung, die unmittelbare Wärmequelle, gemildert. So sind denn auch die im tropischen Seeklima beobachteten Wärmemaxima durchaus nicht ungewöhnlich; sie betragen kaum die Hälfte der in tropischen Wüsten beobachteten Temperaturhöhen. Man darf also diese ungewöhnlichen Wärmemaxima ausser Acht lassen, vielmehr da-

von ausgehen, dass eine allgemeine Wärmesteigerung auf der Erde lediglich den gemässigten und kalten Zonen zugute kommt. Wir gelangen also auf dem Wege meteorologischer und physikalischer Erwägungen zu der bereits durch geologische Beobachtung festgelegten Anschauung, dass die Vergangenheit unseres Planeten ein vorwiegend gleichmässiges Klima aufwies: allgemeine Erniedrigungen der Temperatur, sogenannte Eiszeiten bilden die seltenen Ausnahmen. Aber selbst die Vereisung der Pole, die uns als etwas Selbstverständliches erscheint, ist eine ungewöhnliche Erscheinung und die direkte Nachwirkung der letzten Eiszeit, in deren Schatten wir leben. Selbst die Ausbildung von tropischen, subtropischen und gemässigten Klimazonen ist nur in einer Minderzahl geologischer Zeitabschnitte beobachtet worden.

Die Entwicklung der organischen Welt geht der Umgestaltung des Klimas im wesentlichen parallel:

I. Die Eiszeit am Schluss des Paläozoikums folgt einem gleichmässigen, bis zur Steinkohlenzeit (einschliesslich) andauernden Klima; Nachwirkungen dieser Kälteperiode, d. h. eine wahrnehmbare Verschiedenheit in der Verteilung der Meeres- und der Landflora machen sich noch bis in den Anfang der mesozoischen Zeit bemerkbar.

II. Im wesentlichen sind die ersten zwei Drittel des folgenden Mittelalters der Erdgeschichte durch Gleichmässigkeit der Wärmeverteilung ausgezeichnet. Etwa dem letzten Drittel des Mesozoikums (d. h. dem Schluss der Jura und der Kreideperiode) entspricht die Herausbildung von Klimazonen, die jedoch nicht zu einer Eiszeit führt, sondern am Beginn des Tertiärs durch Wiedereintritt einer allgemein verbreiteten wärmeren Temperatur beendet wird.

III. Von der Mitte des Känozoikums an lässt sich das Wiedererscheinen und eine immer schärfere Ausprägung von Klimazonen nachweisen. Im Miocaen herrscht tropisches Klima in unseren<sup>1</sup> Breiten und warme, gemässigte Temperatur nordwärts bis über den 50. Breitengrad. Dann erfolgt eine allgemeine, allmähliche Abkühlung bis zu einer annähernd vollständigen Uebe-

<sup>1</sup> D. h. in Mitteleuropa.

reinstimmung mit der Gegenwart. Trotz dieser Vorbereitung ist dann der Eintritt der jüngsten Eiszeit ziemlich plötzlich erfolgt.

Zur Erklärung der häufigen Klimaschwankungen habe ich<sup>1</sup> die Beobachtungen von Arrhenius über den Einfluss der Kohlensäure auf die Wärmeleitungsfähigkeit der Luft herangezogen. Der wechselnde Gehalt der Atmosphäre an Kohlensäure ist, wie experimentell nachgewiesen wurde, bestimmend für die bedeutendere oder geringere Ausstrahlung der von der Sonne stammenden Erdwärme in den Weltraum. Je mehr Kohlensäure die Luft enthält, um so mehr Wärme wird zurückgehalten. Der Wasserdampf stimmt in seinen thermischen Einwirkungen mit der Kohlensäure überein; auch er ist durchlässig gegenüber den von der Sonne stammenden, Licht und Wärme bringenden Strahlen und undurchlässig gegenüber den dunklen, von der Erde reflektierten Wärmestrahlen. Die Menge des Wasserdampfes, welche die Atmosphäre zu halten vermag, steigt mit der Temperatur, da der überschüssige Wasserdampf bei sinkender Wärme zu Wasser, d. h. zu Wolken und Nebel verdichtet wird. Wasserdampf findet sich also nur in warmen Gegenden und dient hier als Agens für eine weitere Steigerung der Temperatur. Die zur Zeit in der Luft enthaltene Kohlensäuremenge beträgt nur 0,03 Volumprocente der Atmosphäre und eine Abnahme derselben auf etwa die Hälfte des heutigen Betrages soll nach Arrhenius Temperaturverhältnisse schaffen, die zwischen dem 40. und 60. Breitengrade zu einer neuen Vereisung führen wird.

Umgekehrt soll die Vermehrung des Kohlensäuregehaltes um das 2½ bis 3 fache des heutigen Betrages zu der tropischen Wärme der Eocänzeit zurückführen, während deren die Polargebiete um 8—9° C. wärmer waren als jetzt.

Von physikalischer Seite sind die Ansichten von S. Arrhenius verschiedentlich<sup>2</sup> angegriffen worden. Ein neuerer Kritiker, der den Einfluss der Kohlensäure auf die Zurückhaltung der Wärme an sich zugibt, hat eingewendet, dass die von Arrhe-

---

1 Zeitschrift der Berliner Gesellschaft für Erdkunde 1902; das Vorstehende und Folgende enthält nur die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit, verbunden mit einigen seitdem gemachten Erfahrungen.

2 Die Angriffe von Angström hat Arrhenius endgültig widerlegt, was E. Kayser, der ihnen einigen Wert beimisst, übersehen hat.

nius angenommenen Kohlensäure-Unterschiede zu gering seien, um Eiszeiten bezw. tropische Wärme hervorzurufen. Da jedoch die geologischen Ereignisse sehr viel stärkere Veränderungen des Kohlensäuregehaltes hervorzurufen im Stande sind, trifft dieser Einwand<sup>1</sup> einen nebensächlichen Punkt, nicht den Kern der Theorie.

Die Quellen der atmosphärischen Kohlensäure sind die vulkanischen Exhalationen (Mofetten) und Ausbrüche, während die chemischen Vorgänge der Gesteinszersetzung ebenso wie biologische Vorgänge (Bildung des kohlensauren Kalkes und der Kohle aus Wäldern, aus Torf etc.) Kohlensäure in Uebermass absorbieren.

Nun fallen die wärmeren Perioden der Erdgeschichte mit Höhepunkten der vulkanischen Tätigkeit zusammen, während in den vulkanischen Ruheperioden zunächst eine intensive Entwicklung der Tier- und Pflanzenwelt (Steinkohlenformation!), dann eine stärkere Bindung der Kohlensäure und endlich ein Rückgang der Wärme stattfindet. Diese gradatim vorschreitende Abkühlung hat zweimal, am Schluss des Paläozoicum und während des Quartärs, zu einer Eiszeit geführt. Ich habe vor vier Jahren durch eine sorgfältige Vergleichung das Zusammenfallen der geologischen Temperaturmaxima mit den Höhepunkten der vulkanischen Masseneruptionen nachgewiesen und die seither gemachten neuen Beobachtungen verfolgt. Es ist seitdem keine meine Erörterungen widerlegende Tatsache bekannt geworden, vielmehr hat sich die erwähnte Gleichzeitigkeit immer klarer herausgestellt. Insbesondere ist das Eocän wie das andere tertiäre Temperaturmaximum, das Miocän mit seinem tropischen Klima, eine Zeit gewaltiger, weitverbreiteter Massenausbrüche; das Pliocän mit seiner abnehmenden Temperatur entspricht einem allmählichen Rückgang, die posttertiäre Eiszeit einem fast vollkommenen Erlöschen der vulkanischen Tätigkeit. Ob der grosse Hauptkrater des Albanergebirges bei Rom wirklich quartären Alters ist, erscheint mir nach eingehenden brieflichen Darlegungen Deeces jetzt zweifelhaft. Hingegen hat W. Volz für einen vereinzelt, eigenartigen sumatranischen Vul-

---

<sup>1</sup> Selbst wenn er zutreffend wäre, was von physikalischer Seite entschieden werden müsste.

kan, den Manindju, eine quartäre Ausbruchsperiode wahrscheinlich gemacht.

Gewisse Schwierigkeiten für die Kohlensäuretheorie der geologischen Wärmeänderungen würden sich nur dann ergeben, falls die Eiszeiten nicht einheitlich, sondern durch längere selbständige Interglazialzeiten unterbrochen wären.

#### ERGEBNISSE II.

Die Fähigkeit der Kohlensäure die dunkeln Wärmestrahlen in erheblichem Maasse zu absorbiren d.h. Ausstrahlung der irdischen Wärme in den Weltraum zu hindern und so das Klima in erwärmendem Sinne zu beeinflussen, ist durch neuere Experimente und Berechnungen ausser Zweifel gestellt (Arrhenius, Rubens und Ladenburg, 1904-1905).

Durch den Nachweis gewaltiger triadischer Massenausbrüche in British Columbia (siehe oben) sowie durch die weite Verbreitung jungtriadischer Eruptivgesteine in Mexiko, Peru, Neu-Caledonien und Neuseeland erklärt sich die erhebliche Anreicherung der Atmosphäre mit Kohlensäure und die hohe, während des ganzen älteren Mesozoicum (Trias, Jura<sup>1</sup> untere Kreide) auf der Erde herrschende Wärme.

Die Kohlenbildung (Torf, Braunkohle, Steinkohle) erfolgt in den Zonen gemässiger (nicht tropischer) Wärme und pflegt vielfach einer Eiszeit voran zu gehen. D.h. die Kohlenbildung entspricht dem allmählichen Herabgehen der Wärme so im Obercarbon der Nordhemisphäre, bei den Laramiekohlen der oberen Kreide Nordamerikas, bei der liburnischen und garumnischen Kohle der oberen Kreide Südeuropas und den tertiären Braunkohlen.

Die nach einer Eiszeit oder einer Abkühlungsperiode gebildeten Kohlen (Torf der Gegenwart, Eocänkohlen z.B. in Ungarn und England, Dyas- und Triaskohlen der Südhemisphäre) pflegen weniger mächtig zu sein als die vor einer solchen gebildeten Kohlen.

Eine *Wüstenperiode* kennzeichnet in Europa nur den Schluss

---

<sup>1</sup> Die weite Ausdehnung jurassischer Eruptivgesteine in Südamerika ist schon seit längerer Zeit bekannt.

der palaeozoischen Aera d.h. die Steinsalz- und Kalibildung in Norddeutschland. Die Zeit des Rothliegenden entsprach in Mittel-, und Westeuropa vorwiegend einer Steppenperiode; doch sind in den Conglomeraten Beweise für mächtige Erosionsbildungen vorhanden. Die Ausdehnung der Wälder nahm während der Rothliegendperiode nach oben zu gleichmässig ab.

Für die Frage der *Einheitlichkeit* oder Vielheit der *quartären Eiszeit* ist die Entwicklung und Verbreitung der Landsäugethiere von grösster Bedeutung. Für die Einheitlichkeit der Eiszeit spricht das allmähliche Aussterben der Formen eines wärmeren Klimas im Altquartär Europas, das Fehlen irgend welcher selbständig gebildeter Säugethierspecies während der angenommenen, Interglacialzeiten, endlich die Art des Vordringens der arktischen, aus Sibirien stammenden Säuger. Das sibirische Mammoth und das wollhaarige Rhinoceros, die erst nach der Eiszeit in Europa allmählig erlöschen, sind während der hypothetischen Interglacialzeiten weder nach Finnland noch nach Skandinavien, noch nach dem eigentlichen Spanien<sup>1</sup> noch nach Italien gelangt. Das Centrum der nordeuropäischen Vereisung sowie die Hochgebirgswälle der südeuropäischen Halbinseln waren demnach von einheitlichen, die Kälteperiode überdauernden Eismassen bedeckt.

Zu einem gleichartigen Schlusse berechtigt für Nordamerika die in nördlicher Richtung mit beinahe mathematischer Regelmässigkeit erfolgende Abnahme der einheimischen aus dem jüngeren Tertiär stammenden Säugethiere. Im gleichen Maasse nehmen die arktischen aus Ostsibirien stammenden lebenden Säugethiere zu; eine Mischung der Faunenelemente ist nicht erfolgt.

---

<sup>1</sup> Der spanische Fundort Santander liegt an der von Frankreich direkt zugänglichen Nordküste; das zweifelhafte Vorkommen bei Turin ist postglacial.