

Werk

Titel: Gletscher- und Eiszeiten in ihrem Verhältnisse zum Klima

Autor: Woeikof, Alex. v.

Ort: Berlin

Jahr: 1881

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?391365657_1881_0016 | LOG_0049

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

XV.

Gletscher- und Eiszeiten in ihrem Verhältnisse zum Klima.

Von Dr. Alex. v. Woeikof.

(Schluss.)

V.

Die Verhältnisse, welche jetzt in Grönland obwalten, sind besonders interessant für die hier erörterte Frage, denn es ist das einzige grosse vereiste Land, welches auf der nördlichen Halbkugel existiert, und es ist besser bekannt, als andere Länder ähnlicher Beschaffenheit.

Das ganze Innere Grönlands ist mit Eis bedeckt, welches nur einen schmalen Küstensaum bis zu einer Höhe von etwa 600 m frei lässt, und auch dies nicht ganz, denn durch die meisten Fjords der Insel ergiessen sich Eisströme bis zum Meere. Rink hat diese bis ans Meer reichenden Gletscher mit Flüssen anderer Länder verglichen: wie diese den Überschuss des Niederschlages über die Verdunstung zum Meere führen, so auch die Gletscher oder Eisströme Grönlands. Obgleich Grönland einige hohe Berge besitzt, namentlich an der Ostküste, so ist es doch nicht wahrscheinlich, dass das ganze Land sehr gebirgig ist; die Reisen auf dem Binneneis haben vielmehr zu dem Resultat geführt, dass der grössere Teil des Inneren ein mässig hohes Plateau ist, auf welchem das Binneneis lagert. Wenn wir auch einen sehr kleinen Erhebungswinkel annehmen für die Oberfläche des Eises von der Nähe der Küste zum innersten Teile der Insel, so ist das Eis dort wenigstens 3000 m über dem Meeresniveau gelegen. Die Meere, welche Grönland im Osten und Westen begrenzen, haben das ganze Jahr Treibeis, aber gefrieren nicht auf irgend eine weite Strecke vom Ufer, denn sie sind zu tief und bewegt dazu. Das Meer im Osten (Dänemark-Strasse) hat mehr Eis, als die Meere im Westen (Davisstrasse und Baffinsbai), in letztere dringt selbst ein Zweig des Golfstromes, kann aber das Wasser nicht so sehr erwärmen, wie in anderen Meeren derselben Breiten, denn in der wärmeren Jahreszeit schwimmen grosse Eismassen von Norden her, während im Winter die Oberfläche des Wassers durch eisige Winde von Norden abgekühlt wird und dann auch Eisberge — die abgebrochenen Enden der grönländischen Gletscher — nicht fehlen. Auf der Davisstrasse wie auf dem Teile des Oceans bei Island ist der Luftdruck, namentlich im

Winter, meistens niedrig, aber sehr veränderlich, und die Centren der Cyclonen (Stürme) des Nord-Atlantic finden sich häufiger bald in der einen, bald in der anderen Meeresgegend, wie aus den gediegenen Untersuchungen von Hoffmeyer folgt*). Bei den Stürmen, welche dabei entstehen, fallen grosse bedeutende Niederschläge in Grönland, und zwar namentlich im östlichen, wenn das Centrum sich in der Davisstrasse befindet, und im westlichen, wenn es bei Island vorbeigeht, und bei der in Grönland herrschenden Temperatur fallen diese Niederschläge in fester Form und dienen also zur Vergrösserung des Binneneises und der Gletscher. In dem allein von Europäern bewohnten Westgrönland, zwischen 60° — 72° N. Br. fallen denn auch im Herbst, Winter und Frühling ganz bedeutende Schneemassen. Es finden sich also hier Verhältnisse, welche der Bildung von Gletschern besonders günstig sind, d. h. die Menge der Niederschläge ist gross, und sie fallen meistens in fester Form.

Die Ursache aber, warum die Niederschläge in Grönland hauptsächlich (im Innern auf der Höhe des Binneneises wahrscheinlich auch im Sommer) in fester Form fallen, ist, dass die umringenden Meere eine niedrige Temperatur haben, etwas über oder unter 0° , ohne doch ganz zu gefrieren, denn je niedriger die Temperatur, bei welcher das Wasser von der Oberfläche des Meeres verdunstet, desto wahrscheinlicher wird der resultierende Niederschlag Schnee sein. Wenn die Oberfläche des Meeres aber bedeutend wärmer ist als 0° , so fällt der Niederschlag, welcher aus der Verdunstung von dessen Oberfläche resultiert, eher in flüssiger als in fester Form, und dessen Resultat ist also ein Abschmelzen, nicht aber eine Vergrösserung der Gletscher. So geschieht es oft in den Bergen selbst des nördlichen Schottlands. Die massenhaften Niederschläge, welche dort im Spätherbst und Winter so häufig sind, fallen oft in Form von Regen, sobald der Wind von SW. weht, d. h. die Dämpfe von den wärmeren Meeren nach Schottland ziehen. Daher schmilzt der Schnee oft massenhaft selbst im Winter, und trotz der Masse der Niederschläge und trotzdem sie hauptsächlich in der kälteren Jahreszeit erfolgen, finden wir in Schottland keinen beständigen Schnee und keine Gletscher.

Ganz anders in Grönland. Selbst an der Küste fehlen Schneefälle in keinem Monate.

Ich will versuchen, die Sache noch anders zu begründen. Wie bekannt, beträgt die Abkühlung der aufsteigenden Luft etwa 1° C. für jede 100 m, soweit keine Kondensation der Dämpfe in ihr stattfindet, und soweit die Änderung der Intensität der Schwere mit der

*) Hoffmeyer, Etudes sur les tempêtes de l'Atlantique Septentrional. Kopenhagen 1880. Im Auszuge Zeitschr. f. Meteorologie, 1880.

Höhe zu vernachlässigen ist; aber wenn gesättigt feuchte Luftströme aufsteigen, so ist die Wärmeabnahme langsamer, weil die Kondensation der Dämpfe immer Wärme zuführt, und zwar beträgt sie für die häufiger auf der Erde beobachteten Drucke und Temperaturen 0.76 bis 0.37° C. pro 100 m*).

Die Meere um Grönland haben selbst im Sommer nicht über 5° C. an der Oberfläche. Wenn eine gesättigt feuchte Luftschicht mit einer Anfangstemperatur von 5° C. aufsteigt, so wird sie in 1000 m Höhe eine Temperatur von etwa — 0.9 haben, d. h. eine solche, bei welcher der Niederschlag als Schnee erfolgt. Und eine Höhe von 1000 m ist eine solche, welche sehr niedrig ziehenden Wolken über den, der Küste nächsten Teilen des grönländischen Binneneises entspricht. Aus höheren Wolken und überhaupt über den höheren inneren Teilen des Eises wird jedenfalls noch eher auch im Sommer Schnee fallen und die Oberfläche des Binneneises erreichen, ohne zu schmelzen. Die, wenn auch mässige Höhe des inneren Grönland ist auch ein wichtiger Faktor. Die von den Meeren kommende Luft wird dadurch gezwungen aufzusteigen, wird abgekühlt, und also werden häufigere Niederschläge und zwar bei einer niedrigeren Temperatur erzeugt, als wenn Grönland ein Tiefland wäre. Dies führt also zu massenhafterem Fall von Schnee und ist dadurch zur Erzeugung von permanentem Eise und Gletschern günstig. Also in Breiten zwischen 60°—72° N. finde ich die Ursache der Vergletscherung Grönlands darin, dass es hoch liegt, dass es von relativ kalten, aber nicht ganz gefrierenden Meeren umringt ist, dass also die Verdunstung von der Oberfläche derselben immer bedeutend ist, dass bei der Kälte des Meereswassers die Dämpfe eine solche Temperatur besitzen, dass schon in einer Höhe von 1000 m. auch im Sommer hauptsächlich Schnee fällt, während im Winter durch das häufige Passieren von Cyclonen heftige Stürme mit ergiebigen Niederschlägen erzeugt werden.

Im nördlichen Grönland haben die Überwinterungen der zweiten deutschen Expedition und diejenigen der Hall'schen Expedition gezeigt, dass Nordwinde sehr vorwalten, und die Niederschläge selten und wenig ergiebig sind. Dr. Bessels hat sogar die Meinung ausgesprochen, die Niederschläge wären ganz ungenügend, um das zu ersetzen, was jährlich thaut, verdunstet und von den Gletschern dem Meere zugeführt wird, und das Binneneis des nördlichen Grönland müsse von einer früheren, an Niederschlägen reicheren Periode stammen und verringere sich jetzt jedes Jahr. Diese Meinung verdient Beachtung, als von einem Gelehrten stammend, welcher 2

*) Eine kurze, aber sehr gediegene Erörterung dieser Verhältnisse ist von Prof. Haller gegeben, in der Zeitschr. f. Meteorologie, 1874, S. 321.

Jahre in diesen Gegenden verweilte. Jedoch die englische Expedition unter Nares hatte mehr Schnee, als die Hall'sche in dem nahen Grinnel-Lande, und es ist ausserdem möglich, ja wahrscheinlich, dass auf der hoch erhabenen Eisfläche im Innern die Niederschläge des Sommers ergiebiger sind, als an der Küste — und sie müssen jedenfalls als Schnee erfolgen und also zur Deckung der Verluste an Eis beitragen. Es ist noch folgender Fall möglich, ja es scheint mir wahrscheinlich: die grossen Eismassen, welche das Innere des nördlichen Grönland bedecken, stammen aus einer Zeit, wo die Niederschläge ergiebiger waren, als jetzt, und wo zugleich die mittlere Temperatur des Jahres und namentlich des Winters höher war, also wo überhaupt das Klima des nördlichen Grönlands mehr dem jetzigen des südlichen glich. Nachdem aber eine grosse Anhäufung von Eis entstand, welche im Innern vielleicht bis über 3000 Meter reicht, kann das Gleichgewicht auch unter den jetzigen Verhältnissen bestehen, denn im Sommer wenigstens müssen Winde vom Meere nicht fehlen, und bis die Luft so grosse Höhen erreicht, muss sie fast ihren ganzen Wasserdampf als Schnee fallen lassen, also zur Vergrösserung des Binneneises beitragen. Ausserdem muss bei der furchtbaren Kälte im nördlichen Grönland der Abgang des Eises durch Verdunstung, Schmelzung und Abbruch der Gletscherenden am Meere auf ein Minimum reduziert werden. Dass die Verdunstung und das Schmelzen unbedeutend sein müssen, ist selbstverständlich, aber auch die Bewegung des Eises wird durch niedrige Temperatur sehr verlangsamt, wie aus den Beobachtungen an den Alpen hinlänglich bekannt ist. Bei der relativ langsamen Bewegung des Eises muss auch der Verlust durch Abbruch der Gletscherenden am Meere, unter sonst gleichen Bedingungen, relativ unbedeutend sein.

Die Temperaturverhältnisse Grönlands sind interessant, indem sie die einzigen besser bekannten auf einem grossen vergletscherten Lande sind. Folgender Auszug mag hier genügen:

N.-Breite.	Mittlere Temperatur.	Jahr.	Winter.	Sommer.	Wärmster Monat.
Westgrönland.					
61°	Frederichshaab	—0,9	—8,3	5,9	6,5
64°	Godthaab	—2,9	—10,0	4,7	5,5
71°	Omenak	—7,0	—18,6	5,3	6,7
76½°	Wolstenholm-Sund	—15,3	—33,7	3,3	5,7
78½°	Rensselaer und Pt. Frulke.	—17,1	—31,9	1,7	4,0
81½°	Polaris-Bay	—15,4	—29,2	2,9	4,2
Ostgrönland.					
74½°	Sabine-Insel	—11,7	—22,5	2,7	3,8
Island.					
64°	Reykjavig	3,4	—2,0	10,7	12,0

Besonders ist folgendes zu bemerken: der unbedeutende Unterschied der Temperatur im Sommer in ganz Grönland, so zwar, dass im Süden die Temperatur des Sommers kälter ist, als irgendwo in der nördlichen Hemisphäre unter derselben Breite, während an den nördlichsten Stationen Grönlands der Sommer nicht kälter ist, ja teilweise sogar wärmer als an anderen Orten derselben Breiten. Diese Verhältnisse beweisen wiederum das früher Gesagte über die Kälte der arktischen Sommer, dass dieselbe hauptsächlich der Absorption der Wärme durch das massenhafte Thauen von Schnee und Eis zugeschrieben ist. In Grönland, wo sich auf dem Meere und auf dem Lande grosse Eismassen schon von 60° N. Br. an finden, drücken dieselben die Temperatur des Sommers schon von diesem Breitgrade an herab. Der nördlichste Teil Grönlands hat, im Vergleich mit anderen Gegenden derselben Breiten, keine abnormen Quantitäten Eis, daher auch sein Sommer nicht kälter ist. Interessant ist der Vergleich des Sommers an zwei Orten derselben Breite, beide an Westküsten grosser Inseln gelegen, Reykiavik und Godthaab. Im ersteren ist der Sommer um 6° wärmer, weil das Meer bei der Westküste Islands im Sommer eine Mitteltemperatur zwischen $8-10^{\circ}$ hat, ein wenig weiter westlich sogar über 11° , und auch im Innern Islands sich viel weniger Gletscher finden als in Grönland. Wenn es nicht das Eis wäre, so müssten wir in Grönland, als der viel grösseren Insel, im Sommer eine höhere Temperatur erwarten. Hingegen ist die Abnahme der Temperatur nach Norden, namentlich bis zum $76^{\circ}-79^{\circ}$ N. Br. eine sehr rasche im Jahre, besonders aber im Winter, und in dieser Hinsicht ist nirgends in derselben Breite eine so rasche Abnahme der Temperatur beobachtet. Selbst wenn wir Wolstenholm-Sund anschliessen, weil dort der Winter während des Beobachtungsjahres vielleicht abnorm kalt war, und uns auf eine Vergleichung des 61° mit dem $78\frac{1}{2}^{\circ}$ N. in Westgrönland beschränken, so beträgt die Abnahme der Temperatur pr. Breitengrad, im Jahre 0.93, im Winter 1.41, im Sommer 0.21.

Es scheint, dass die grösste Winterkälte dort gefunden wird, wo das nördliche Grönland am breitesten ist, d. h. zwischen $76^{\circ}-79^{\circ}$ N., während nach Norden der Winter milder ist, weil die Insel dort schmaler und das Meer breiter wird, und dabei keineswegs, selbst im Winter, ganz eisbedeckt ist. Wenn, wie höchst wahrscheinlich, ein Südpolarkontinent existiert, im Mittel etwa zwischen den Breiten $75^{\circ}-90^{\circ}$ S., so müssen die Temperaturverhältnisse dort sehr analogen Grönlands zwischen $60^{\circ}-78^{\circ}$ N. verlaufen: im Norden, d. h. in niederen Breiten des Kontinents, ein mehr oceanisches Klima, sehr niedriger Luftdruck, relativ milde Winter, also etwa wie in Südgrönland, nur natürlich wegen der höheren Breite kälter, die

Sommer sehr kalt; gegen das Innere des Kontinents, d. h. abwärts eine rasch sinkende Temperatur des Jahres und besonders des Winters, dabei im Winter höherer Luftdruck im Inneren und vorwaltende polare (Süd-) Winde. So ist es denn bei der Existenz eines Südkontinentes möglich, ja sehr wahrscheinlich, dass, wenn auch die Winter unter 70° — 75° S. relativ mild sind, am Südpol doch eine Kälte herrscht, welche derjenigen der kältesten Gegenden Sibiriens in Nichts nachsteht.

VI.

Alle Länder und Inseln der südlichen Hemisphäre südlich vom 47° S. sind mehr oder weniger schneebedeckt vergletschert, mit Ausnahme vom östlichen Südamerika, den Falklands- und Auckland-Inseln. Worin ist die Ursache dieser Erscheinung zu suchen? Mir scheinen dabei besonders wirksam zu sein:

1) Die grosse Ausdehnung der Meere in den mittleren Breiten, und das grosse Vorwalten und die grosse Stärke der W.-Winde, welche Trübung und Niederschlag bringen, namentlich im Winter, während andererseits die ausgeprägt oceanische Lage, welche die warmen Lufttemperaturen und warmen Gewitterregen der kontinentalen Gebiete ausschliesst, beide so wichtig für die Schneemelze.

2) Die niedrige Temperatur der Oberfläche der Meere, so sehr verschieden von den Temperaturen der offenen Meere auf der nördlichen Halbkugel.

3) Die hohe Lage der Länder und Inseln, wodurch ein Aufsteigen und eine Abkühlung der Luft bewirkt wird, und dadurch mehr Niederschlag und bei einer niedrigeren Temperatur also häufiger Schnee, als über niedrig gelegenen Ländern.

4) Endlich die Existenz eines ausgedehnten Kontinents in den höchsten Breiten, oder wenigstens zahlreicher, hoher, von Eis bedeckter und überbrückter Inseln.

Die erste Ursache unterscheidet besonders die Breiten von 47° — 67° der südlichen Halbkugel von der ausgedehnten, vielleicht im Jahresmittel kälteren, aber nicht permanent schneebedeckten Kontinentalflächen des nördlichen. Aber eine der Ursachen, welche einer Vergletscherung der grossen Kontinente der nördlichen Halbkugel ungünstig sind, ist schon früher ausführlich genug gegeben. Viel wichtiger ist die zweite, d. h. die Kälte der Oberfläche des Meeres, welche diese südlichen Breiten von den entsprechenden nördlichen maritimen Gebieten unterscheidet.

Es existieren leider nicht so gute kartographische Darstellungen der Meerestemperaturen der südlichen Halbkugel wie der nördlichen. Um sich eine allgemeine Anschauung zu verschaffen, nehme man

die Karte in Wild's „Thalassa“*) oder die mehr bekannte, aber schon etwas veraltete Karte der Isokrymen von Dana**). Namentlich sei die Lage der Jahresisotherme (des Wassers) von 40° F. (4.4° C.) bemerkt. In der nördlichen Halbkugel ist diese Temperatur im Jahresmittel beschränkt auf die eigentlichen Polarmeere, einige landumringte und im Winter stark erkaltende Meere, wie das ochotskische und ein sehr kleiner Teil im NW. des nordatlantischen Oceans, wo die kalten Strömungen und das Eis aus der Baffins-Bay und der Dänemark-Strasse besonders energisch wirken. Auf der südlichen Halbkugel aber hat der offene Ocean südlich vom 60° S. überall unter 4.4° , und die Grenze dieser Temperatur bleibt nur zwischen 60° — 160° W. (zwischen Neuseeland und Südamerika) in 58° — 60° S., im südatlantischen und indischen Ocean steigt sie rasch nach Norden bis zu 46° S.

Die Ursache dieser Kälte der Südmeere sehe ich in folgendem: die südlichen Passate sind im ganzen ausgedehnter, regelmässiger und stärker als die nördlichen, und sie greifen weit über den Äquator nach Norden hinaus. Das durch die Passate bewegte, warme Wasser der südlichen Tropen wird dadurch teilweise auf die nördliche Halbkugel gebracht und strömt dann als Golfstrom und Kuro-Siwo nach den mittleren Breiten der nördlichen Halbkugel, die Océane derselben sehr erwärmend. Das durch die Passate bewegte warme Wasser der nördlichen Tropen bleibt aber nördlich vom Äquator und dient auch dazu, die Meere der mittleren und höheren nördlichen Breiten zu erwärmen.

Aber es muss noch die relative Grösse der Meere der beiden Halbkugeln in mittleren Breiten betrachtet werden. Die nördlichen sind viel weniger ausgedehnt, und auf diesem relativ kleinen Gebiete concentrirt sich so zu sagen die erwärmende Wirkung des warmen Wassers der nördlichen Tropen und eines Theiles der südlichen. Die Meere in den mittleren südlichen Breiten sind hingegen sehr ausgedehnt; zwischen 47° — 67° werden sie nur durch den schmalen südlichen Teil von Südamerika unterbrochen, und die Wirkung warmen tropischen Wassers verliert sich so zu sagen in diesem enormen Gebiete; ausserdem bedenke man noch, wie viel warmes Wasser aus dem südatlantischen und südpacifischen Océane den nordhemisphärischen Océanen zu Gute kommt.

Dann ist noch der Wirkung der Eisberge vom Südpolarkontinente zu gedenken. Der Einfluss der letzteren ist sehr wichtig, und zwar ist es nötig, zu erklären, warum dort so viel mehr Eis gebildet wird und dann abbricht und als Eisberge einen so bedeu-

*) John James Wild: Thalassa, London 1877.

***) In Stieler's Atlas 7. A.

tenden Einfluss auf die Abkühlung des Wassers in mittleren südlichen Breiten übt. Ich muss auf das bei Gelegenheit Grönlands Erwähnte verweisen. In der Nähe des Südkontinents wie bei Grönland und zwar in noch ausgedehnterem Maasse, giebt es sehr kalte, aber dauernd nicht gefrierende Meere. Solche Oberflächen verdunsten auch im Winter ziemlich stark, namentlich bei den dort herrschenden starken Winden, und begünstigen dadurch einen starken Schneefall. Selbst die mechanische Wirkung des Windes, indem er den Wasserstaub der zerschlagenen Wellen weit hinträgt, ist nicht unbedeutend und mag zur Vergrößerung der Niederschläge beitragen. Das Aufsteigen der Luft an den hohen, steil aufgerichteten Küsten des Südkontinentes ist ein weiterer wichtiger Faktor. Auf der nördlichen Halbkugel sind die kältesten Meere so landumringt, dass sie eine feste, viele Monate dauernde Eisdecke haben, welche dann wie ein Kontinent im Winter stark erkaltet und daher wenig verdunstet, also zu unbedeutendem Schneefall als Ursache dient.

Die einmal gebildete Schnee- und Eisdecke des Südkontinentes wirkt dann konservativ — denn scheint die Sonne, so wird deren Wärme von den Schneekristallen reflektiert und durchwärmt dabei die absolut dampfarme, kalte Luft nur wenig. Wirkt eine Wolkendecke als Schirm zwischen der Sonne und dem Schnee, so reflektiert sie selbst einen Teil der erhaltenen Wärme und strahlt den Rest leicht aus, da die höheren Luftschichten noch verdünnter und absolut dampfärmer als die unteren sind. Die abgebrochenen unteren Enden der mächtigen Gletscher aber kühlen die Meere bis in viel niedrigere Breiten ab. Die bis in niedrige Breiten ziemlich kühlen südlichen Meere aber geben den südlichen Passaten einen stärkeren Impuls und lassen sie bis weit über den Äquator reichen, so einen Teil des wärmsten tropischen Wassers den nordhemisphärischen Meeren zuführend. Ich schliesse also aus diesen Erscheinungen, dass an der Polargrenze der südlichen Passate im atlantischen und stillen Oceane ein höherer Luftdruck herrscht, als an den Polargrenzen der nördlichen. An den jetzigen Meeresniveaus ist dies nicht der Fall. Jedoch in unseren Tagen ist die Idee von der Horizontalität des Meeresniveaus so erschüttert worden, dass das oben erwähnte Faktum nur auf ein höheres Niveau der Oceane in den südlichen Passatzonen deuten würde. So verketteten sich geographische Ursachen, ausgedehnte Meere in mittleren Breiten und Kontinente in den höchsten, so wirken Ursache und Wirkung aufeinander zurück, dass die südliche Halbkugel kältere Meere und eine unvergleichlich grössere Entwicklung von Schnee und Eis hat, als die nördliche.

Die Frage über die mittlere Lufttemperatur der beiden Halbkugeln will ich noch kurz betrachten. Die Meinungen darüber

haben eigentlich zwei Phasen durchlaufen: früher, und noch jetzt sehr häufig, wird von der Kälte der Sommer und der Erstreckung der Gletscher geschlossen, dass die südliche Hemisphäre in ganz enormem Grade kälter als die nördliche sei. Jetzt aber sind einige hohe wissenschaftliche Autoritäten der Meinung, nur die niederen Breiten 0° — 40° seien in der südlichen Halbkugel kälter, die höheren aber, bis zur Grenze des hypothetischen Südkontinents (also etwa 75° S.) wärmer als die entsprechenden nördlichen, und zwar rühre dieser Unterschied daher, dass die südliche Hemisphäre überwiegend oceanisch sei, und daher, wie überhaupt das Meer, eine über die verschiedenen Breitengrade gleichmässiger verteilte Wärme haben, also in den niederen Breiten kälter, in den höheren wärmer sein müsse, als die mehr kontinentale nördliche. Es scheint Sartorius von Waltershausen gewesen zu sein, welcher diese Idee zuerst aussprach*). Später lieh ihr Hann seine bedeutende Autorität, indem er auch ziffermässige Beweise beibrachte**), und zwar hatte seine Meinung bei dem damaligen Stande der Kenntnisse vieles für sich. Er berechnete die Mitteltemperaturen des Jahres in den Meridianen von Neuseeland und der Westküste von Südamerika und erhielt folgende Zahlen:

Breite	40°	45°	50°	55°
Meridian von Neuseeland	13.1	10.6	8.1	5.5
- - der W.-Küste von Südamerika	11.8	9.8	7.7	5.3
Mittel	12.5	10.2	7.9	5.4
Unterschied gegen die Mittel der nördlichen Halbkugel***)	+ 1.1	- 0.7	- 2.5	- 3.2

Seit dieser Zeit aber ist sehr vieles für die Erforschung der Meere geschehen, und es sind die Resultate der Beobachtungen auf der Insel Kerguelen publiciert, welche für grosse Strecken in derselben Breite eher als normal gelten können, als diejenigen in Neuseeland und Südamerika, welche Gegenden anomal warm sind. In Kerguelen geben die Beobachtungen von Ross 1.3° für den Juli, und das Mittel aus den Beobachtungen der deutschen und englischen Expedition 6.2° für den Januar, Jahrestemperatur etwa 4.3° für den 49° S. Br. Dies würde für den 50° S. etwa 3.8° geben. Jedoch ich will diesen Breitengrad um etwas höher annehmen, die Beobachtungen in den wärmeren Meridianen berücksichtigend, und zwar Juli 2.0° Januar 8.0° , Jahr 5.0° . Für die höheren Breiten haben wir, ausser in Südamerika, nur Schiffsbeobachtungen, und

*) Untersuchungen über die Klimate der Gegenwart und Vorzeit.
 **) Zeitschrift für Meteorologie, Bd. VII S. 241.
 ***) Plus bedeutet: nördliche Halbkugel wärmer, minus — dieselbe kälter.

zwar rührt die bedeutendste Reihe von Sir James Ross her und ist vom Meteorological Office publiciert worden*). Ich berechnete für die verschiedenen Breiten daraus folgende Temperaturen des Januar, indem, wenn die Beobachtungen im Februar gemacht wurden, diese Temperatur um 0.5 erhöht wurde.

Mitteltemperatur des Januar.

60° S. 1.8; 63½° S. 0.2; 65¾° S. — 0.7; 70° S. — 1.6;
72½° S. — 2.1; 76½° S. — 3.7.

Indem weiter ein mit der Breite wachsender Unterschied zwischen Januar und Juli angenommen wurde, erhielt ich folgende Zahlen

	Juli	Januar	Jahr
50° S.	2.0	8.0	5.0
60° S. —	4.8	1.8	— 1.5
70° S. —	10.4	— 1.6	— 6.0
76½° S. —	14.7	— 3.7	— 9.2.

Aus dieser Tabelle ist zu schliessen, dass die mittlere Jahrestemperatur der südlichen Hemisphäre von 59° oder 60° an bis zu der Grenze des Südpolarkontinentes jedenfalls wärmer ist, als diejenige der nördlichen in niederen Breiten, und auf dem Polarkontinent von einiger Entfernung von der Küste an (je nach den Meridianen etwa von 76°—80° S. an) kälter als in der nördlichen Hemisphäre. Es ist zu sehen, dass ich dem Resultate von Hann nur für die Breiten von etwa 43°—59° nicht beipflichten kann, für die höheren bin ich ganz mit ihm einverstanden.

Immer aber müssen wir mit Bedauern erkennen, wie wenig wir noch über die höheren südlichen Breiten wissen, und zwar so wenig, dass bei den jetzigen Anforderungen der Wissenschaft und Mitteln der Technik dies wirklich scandalös erscheint. Man bedenke doch: keine wissenschaftliche Überwinterung auf südlich vom 54° S! Selbst im Sommer nur spärliche Schiffsbeobachtungen! Kein volles Jahr von Beobachtungen selbst auf Kerguelen, keine guten Beobachtungen auf den Neu-Seeland so nahen, immer zugänglichen Auckland-Inseln! Daher sind besondere Hoffnungen auf die Bemühungen von Bove und Christoforo Negri in Italien und von Neumayer in Deutschland zu setzen, welche eine deutsche und italienische antarktische Expedition befürworten. Auch in der Frage über die Eiszeiten hat eine Erforschung der höheren Breiten der südlichen Hemisphären eine sehr grosse Tragweite, denn man bedenke, dass diese wenig bekannten Breiten kaum südlich vom 55° S. beginnen.

*) Meteorology of antarctic regions.

VII.

Eine wichtige Frage ist: bestand der jetzige Unterschied der beiden Halbkugeln und ihrer Eisanhäufungen auch in früheren Zeiten oder nicht? Was die postpliocäne Periode betrifft, so kann wohl getrost die Antwort gegeben werden, dass sie wirklich die meiste Zeit bestanden hat, denn die Spuren auch der früheren Gletscher sind in der südlichen Hemisphäre in viel niedrigeren Breiten sicherer beobachtet worden, als auf der nördlichen, so z. B. in Südamerika, wo die Gletscher in früherer Zeit sogar in 37° S. bis zum Meeresniveau hinabstiegen. Etwas ähnliches ist auf der nördlichen Halbkugel nirgends sicher gestellt, trotzdem sie besser erforscht ist. Aber mehr als das: an der Küste von Natal, bis 26° S. sind Arten von Konchylien gefunden, welche noch jetzt die Südpolarsee bewohnen, und, wie bekannt, ist bei diesen ein Schluss auf die Temperatur und andere physikalische Bedingungen viel sicherer als bei Mammalien und selbst bei vielen Pflanzen. In den Bergen von Natal und Transvaal sind gut beglaubigte Gletscherreste gefunden; ja mehr als das, es kann dasselbe von der Küste und dem Küstengebirge Brasiliens, von San Paulo bis Pernambuco (26°—7° S.) gesagt werden. Ich will natürlich dabei die phantastischen Schlüsse von Agassiz ganz bei Seite lassen, aber Ch. Fred. Hartt, ein gediegener Geologe, der Brasilien gut kannte und die Vergletscherung der Amazonas-Niederung verwarf, fand selbst sichere Spuren von Gletschern an der Küste und im gebirgigen Innern Brasiliens.

In den letzten Jahren hat sich bei den bedeutenden Naturforschern die Idee der Permanenz einerseits der grossen Ozeantiefen, andererseits der Gebiete, wo Kontinente, Inseln und seichte Meere wechseln, immer mehr Bahn gebrochen. Wenn dem so ist, so erklärt sich die grössere Erstreckung der jetzigen wie früherer Gletscher in der südlichen Halbkugel ganz ungezwungen: sie ist diejenige gewesen, wo grosse und tiefe Ozeane und relativ wenig Land in mittleren Breiten war, während hohes Land in den höchsten Breiten überwog, also geographische Bedingungen, welche der Eisanhäufung günstiger waren, als in der nördlichen Hemisphäre. Es ist also der einfache Schluss von der Ursache — der geographischen Bedingungen, auf die Wirkung — die Anhäufungen von Eis oder das Fehlen derselben. Es war wohl Sir Charles Lyell der erste, welcher dies aussprach, aber natürlich können seine Meinungen nur in ganz allgemeiner Art gelten, denn die Art, wie er sich die Ursachen wirkend dachte, seine Unkenntnis vieler Elemente der Physik und Meteorologie führten ihn oft zu den verfehltesten Schlüssen (es ist genug, den bekannten Sahara-Föhn der Schweiz zu erwähnen).

Die Wirkung der jetzigen geographischen Verhältnisse erkennend, wenigstens in den Hauptzügen, gewinnen wir eine sichere Basis für unsere Schlüsse über die Ursachen einer früheren grösseren Erstreckung der Gletscher oder sehr milder Klimate in den Polarländern.

Was letztere Erscheinung betrifft, so ist Wallace*) ganz im Rechte, wenn er die unbedeutende Erstreckung der Nordpolarmeere und den Einfluss hervorhebt, welchen schon jetzt der Golfstrom auf die Meere bei Norwegen ausübt und bis 75° N. die Eisbildung ganz verhindert. Aber der Golfstrom wird sehr stark abgekühlt durch den kalten Labradorstrom, der Kuro-Siwo dringt nicht über die schmale Behringsstrasse hinaus, endlich der indische Ocean kann den nördlichen Meeren gar kein warmes Wasser zusenden. Es ist denkbar, und aus vielen Verhältnissen wahrscheinlich, dass in der eocänen und miocänen Periode der Kuro-Siwo viel zur Erwärmung des arktischen Oceans beitrug, und dass ausserdem, da viele der Hochländer Westasiens damals nicht existierten, ein warmer Strom vom indischen Ocean durch den persischen Golf und das kaspische Meer auch in den arktischen Ocean drang, und diese warmen Ströme zusammen in dem ganzen Oceane oder wenigstens im grössten Teile desselben ebenso die Eisbildung verhinderten, wie der Golfstrom jetzt bei uns nördlich von Norwegen.

Ich habe so viele Thatsachen gebracht, welche die Unabhängigkeit der Lufttemperatur von der an Ort und Stelle empfangenen Sonnenwärme zeigen, in den Fällen, wo andere mächtige Faktoren wirken (namentlich in Cap. III.), und so sehr den enormen Einfluss selbst der jetzt bestehenden, relativ unbedeutenden warmen Strömungen hervorgehoben, dass die Wirkung, d. h. das ganze Jahr über milde Witterung, ohne grosse Hitze und Frost, in den arktischen Gegenden selbstverständlich ist, wenn nur die Ursache, d. h. so mächtig warme Strömungen von den tropischen Teilen aller drei Oceane fest steht, wie von Wallace vermutet wird. Dies im Auge behaltend erklärt sich die reiche eocäne und miocäne Flora Grönlands, Grinnel-Lands, Spitzbergens ganz ungezwungen.

Aber noch mehr: eine solche Flora ist in den arktischen Ländern bis jetzt nur in der Nähe des Meeres entdeckt worden, vom Innern Sibiriens besitzen wir keine ähnliche. Mir scheint dies darauf zu deuten, dass, wenn auch der arktische Ocean durch warmes Wasser eine so hohe Temperatur erhielt, dass an seinen Ufern sich eine reiche, Temperaturen unter 0 oder — 5° nicht ertragende Flora entwickelte, im Innern des asiatischen Continentes der Kon-

1) S. „Nature“ 1880 und 1881.

trast der Jahreszeiten doch gross war und, wie jetzt auf einen warmen Sommer ein kalter Winter folgte, in Breiten über 45° keine subtropische Flora existieren konnte. Es musste ganz natürlich erscheinen, die Verschiedenheit der beiden Erdhalbkugeln in Bezug auf die Eisanhäufungen in Verbindung mit ihrer Lage zur Sonne zu bringen, denn die südliche hat jetzt ihren Winter im Aphelion (Sonnenferne), ihren Sommer im Perihelion (Sonnenhöhe), die nördliche umgekehrt. Die gegenseitige Stellung der Halbkugeln wechselt bekanntlich in etwa 10500 Jahren, auch ist die Excentricität der Erdbahn keine beständige, und zwar ist die jetzige (0.168°) viel kleiner als das Mittel, während die grösste nach den Formeln Leverrier's auf 0.0777, nach den neueren, genaueren Berechnungen von Stockwall auf 0.0698 steigen kann.

Es sind jetzt britische Geologen, welche sich besonders mit den Hypothesen befassen über die Wirkung einer grossen Excentricität der Erdbahn und der Nähe oder Ferne der betreffenden Erdkugel von der Sonne im Winter oder Sommer auf die Klimate. Aber die einen, wie z. B. Murphy*), behaupten, dass die Halbkugel, welche bei grosser Excentricität ihren Winter im Perihelion hat, die vergletscherte sein muss, denn während des kühlen Sommers im Aphelion wird nicht genug Schnee schmelzen können. Die meisten aber, namentlich James Croll**), behaupten, dass die Halbkugel, welche ihren Winter im Aphelion hat (also die relative Lage zur Sonne wie die südliche Hemisphäre jetzt), bei grosser Excentricität vergletschert sein muss, denn bei dem langen und kalten Winter bei Sonnenferne fällt so viel Schnee selbst in mittleren Breiten, dass er während des kurzen Sommers nicht schmelzen kann, hingegen bei dem Winter im Perihelion (bei grosser Excentricität) selbst in Polarländern die Abkühlung so gering ist, dass kein oder fast kein Schnee fällt und daher eine subtropische Flora, wie die miocäne in Grönland, möglich ist. Nach der Ansicht der extremeren Anhänger dieser Meinungen wechseln also in 10500 Jahren die Klimate der beiden Halbkugeln, und zwar umsomehr, je grösser die Excentricität ist. Wenn also dieselbe gross ist, so hat jede Halbkugel eine Folge von Gletschern und Kontinentaleis bis tief in die mittleren Breiten, nach etwa 10500 Jahren aber im Gegenteil milde Klimate bis an die Pole. Jedoch diese Lage der Dinge soll, nach Croll wenigstens, also zusammenhängen. Um mich kürzer auszudrücken, will ich die Hemisphäre, deren Winter im Aphelion fällt, **a** nennen, die andere **b**: Die Anhäufung von Schnee in der Halbkugel **a** kühlt die Meere und die Luft derselben ab, dadurch werden die

*) Glacial climates im Quart. Journ. Geol. Soc. vol. XXXII, p. 400.

**) In seinem Buche „Climate and Time“.

Passate derselben verstärkt und reichen allmählig über den Äquator, also der Halbkugel **b** warmes Wasser von **a** zuführend. Die Entziehung des warmen Wassers macht die Meere in **a** kälter, verstärkt dadurch die Passate, welche dann noch weiter über den Äquator reichen, andererseits befördert die Abkühlung der Meere wiederum die Anhäufung von Schnee und Eis, diese kühlt die Meere noch mehr ab, verstärkt die Passate u. s. w. In der Halbkugel **b** hingegen werden die Passate schwächer, weil bei geringerer Anhäufung von Schnee und Eis die Meere und die Luft wärmer werden, sie reichen nicht bis an den Äquator; dann wird ihr durch die Passate der Halbkugel **a** immer mehr warmes Wasser zugeführt, dies macht Meere und Luft noch wärmer, die Passate noch schwächer. Am Ende reichen die Passate von **a** bis zum Wendekreis der Halbkugel **b**, letztere hat keinen Schnee, selbst im Winter nicht, und besitzt eine subtropische Flora am Pole, während **a** auf allen Kontinenten und Inseln bis an den Wendekreis mit hohem Eis bedeckt ist. In der That, der Ausspruch des Archimedes: „gieb mir einen Stützpunkt und ich werde den Weltball heben“, passt auf die Croll'sche Hypothese: der Mechanismus rollt von selbst, einmal die Grundprinzipien zugegeben, aber ausser der Windtheorie der Meeresströmungen kann ich keines derselben absolut zugeben.

Es ist sonderbar, dass weder Croll noch andere Anhänger dieser Hypothese sich Rechenschaft davon geben, was bei grosser Excentricität im Centrum grosser Kontinente vorgehen muss. Es ist kaum zu bezweifeln, dass in der Halbkugel **a** der Sommer wärmer, der Winter kälter ist, in der Halbkugel **b** hingegen die Jahreszeiten weniger differieren werden. Letztere Bedingungen sind aber Gletschern entschieden günstiger, als erstere.

Sie wollen die Änderungen der maritimen Klimate in Verhältnis zur Stellung der betreffenden Halbkugel zur Sonne bringen, also ein äusserst verwickeltes Problem lösen, ohne erst die einfacheren gelöst zu haben. Es ist zuzugeben, dass bei dem längeren und kälteren Winter der Halbkugel **a** in oceanischen Klimaten mittlerer Breiten etwas mehr Schnee fällt, als bei dem kürzeren und milderen Winter der Halbkugel **b**, bei sonst gleichen Verhältnissen. Aber wird die grössere Sonnenwärme im Sommer in **a** nicht auch zum rascheren Schmelzen desselben beitragen? Andererseits ist auch möglich, dass bei der sicher eintretenden grösseren Kälte im Inneren der Kontinente der Halbkugel **a** bei dem folgenden höheren Luftdrucke dort auch die kalten, trockenen Winde vom Innern der Kontinente zu den Meeren häufiger und stärker werden als jetzt, und solche bringen eher klaren Himmel als Schnee. Die Monsunregion Ostasiens ist ein gutes Beispiel: sie wird im Winter be-

ständig von kalten Winden aus dem Innern Asiens überweht und hat auch dort, wo der Winter kalt ist, sehr wenig Schnee.

Ich will also den astronomischen Ursachen, welche Croll und Andere betrachten, nicht allen und jeden Einfluss auf die Anhäufung und das Verschwinden des Eises absprechen, aber halte deren Einfluss sehr untergeordnet demjenigen der geographischen Bedingungen, und andererseits als nicht immer in demselben Sinne wirkend und darin auch den geographischen Bedingungen untergeordnet. So z. B. wenn sich das Windsystem nicht ändert, kann sich wirklich in der Halbkugel **a** in oceanischen Klimaten mehr Schnee sammeln, als jetzt, aber durch Abkühlung des Innern der Kontinente und die Verstärkung der trockenen Monsunwinde von dort kann auch an den Meeren dadurch im Winter weniger Schnee fallen. Hingegen in der Halbkugel **b** kann durch den kürzeren und milderen Winter im Perihelion eine Abschwächung der trockenen Monsunwinde des Winters hervorgerufen werden und dadurch eine grössere Ansammlung von Schnee.

Wenn schon so wichtige Gründe gegen die Annahme einer trotz verschiedener geographischer Verhältnisse gleichen Wirkung der Stellungen **a** und der entgegengesetzten der Stellungen **b** existieren, so sind die Einwendungen noch mehr in die Augen fallend, wenn man die Wirkungen bedenkt, welche bei einer so äusserst raschen Ansammlung und einem ebenso raschen Thauen gewaltiger Eismassen, wie sie angenommen werden müssen, um den Bedingungen zu genügen, in 10500 Jahren von einer tiefen Vergletscherung bis an die Wendekreise zu gänzlich eisfreiem Pole und vice versa überzugehen. Dass eine Mächtigkeit des Kontinentaleises von etwa 3000m nicht übertrieben ist, geben wohl die meisten Geologen zu. Wir hätten dabei kaum 6000 Jahren für das Ansammeln des Eises in mittleren Breiten genügt, wo etwa bei gegenwärtigen Verhältnissen kein Eis liegt, also wenigstens $\frac{1}{2}$ m pr. Jahr reinen Zuwachs des Eises, ohne den Abgang durch die Bewegung nach dem Meere hin, die Schmelzung und Verdunstung zu berücksichtigen. Dies darf eine physische Unmöglichkeit genannt werden.

Eine kurze Übersicht einiger Gegenden der nördlichen Hemisphäre wird deutlicher machen, durch welche Bedingungen die Existenz früherer Gletscher dort erklärt werden kann, andererseits auch zeigen, warum in anderen in denselben Breiten keine je existiert haben.

VIII.

Dass jetzt keine Gletscher in Grossbritannien existieren, kann nicht durch die Kontinentalität dort erklärt werden. Im Gegenteil, das Klima dort besitzt Eigenschaften, welche gerade entgegengesetzt

sind: einen kleinen Unterschied zwischen Winter und Sommer, eine feuchte Luft, bedeutende Bewölkung, häufige Niederschläge mit Vorwalten derjenigen des Herbstes und Winters (namentlich im Westen). Nur ist die Luft im ganzen zu warm, als dass sich permanenter Schnee und Eis ansammeln könnte. Da es aber hinlänglich bewiesen ist, dass ganz Grossbritannien (der südliche Teil von England vielleicht ausgenommen) mit einer dicken Eisschicht bedeckt war, so liegt es wohl am nächsten, die Ursache davon in einer Verminderung des Volumens oder der Änderung der Richtung des Golfstromes zu suchen. Grossbritannien ist jetzt von so warmen Gewässern umringt, dass selbst in der Mitte des Winters öfter Regen als Schnee fällt; ja selbst in den Gebirgen der Inseln ist dies öfter der Fall; Südorkney und Südgeorgien aber in denselben Breiten der südlichen Hemisphäre sind tief vergletschert, weil von viel kühleren Meeren umringt, so dass schon in einer mässigen Höhe viel öfter Schnee als Regen fällt. Also ein kühleres Meer — und Grossbritannien wird wieder tief vergletschert werden, denn die anderen Eigenschaften des dortigen Klimas, namentlich in Irland und im Westen von England und Schottland sind — die Temperatur ausgenommen — dazu günstig. Um dem Klima des Ostens von England und Schottland glaciäre Bedingungen zu verleihen, wäre vielleicht ein Untertauchen des benachbarten Teiles des Kontinents noch nötig, denn letzterer giebt dem östlichen Grossbritannien einen wärmeren und trockeneren Sommer, als es sonst haben würde. Dieselben geographischen Veränderungen würden die jetzigen Gletscher Norwegens mächtig fördern und neue entstehen lassen. Es ist eine Eigenschaft rein maritimer Klimate, dass ein kleiner Unterschied der Temperatur schon genügt, um ihr Verhältnis zu Schnee und Eis erheblich zu ändern. Die südliche Hemisphäre giebt die besten Beispiele. Die Falkland-Inseln haben auch im Winter keine Schneedecke, die in denselben Breiten gelegene, etwa 5° — 6° kältere Heard-Insel ist fast ganz in Schnee und Eis vergraben. Wie anders auf grossen Kontinenten: Peking mit einer Jahrestemperatur von 10 und Werchojansk mit $-15\frac{1}{2}$ haben beide Eis im Winter und keines im Sommer.

Es ist seit mehreren Jahren schon höchst wahrscheinlich gewesen, dass einst NW.-Russland, ganz Finnland und Scandinavien, die Nord- und Ostsee tief unter Eis waren, und dass sich dieses auch auf Grossbritannien erstreckte und gegen den atlantischen Ocean dort endete, wo etwa jetzt die Tiefe von 600 Fuss engl. anfängt. Auch die Vergletscherung des ganzen Norddeutschlands bis an den Harz, das Erzgebirge, die Sudeten etc. ist wahrscheinlich. Aber das Wie ist in diesem Falle schwierig zu beantworten. Viele Geologen nehmen an, diese Länder seien damals viel höher gewesen. Die Ur-

sache dieser Annahme ist wohl einerseits so zu erklären, dass die Gletscher über den jetzigen Boden der Nord- und Ostsee gegangen sind, andererseits aber dass die Kälte zur Bildung der Gletscher beigetragen habe.

Ich bin geneigt, eine andere Folge der Erscheinungen anzunehmen. Scandinaviens Gebirge waren freilich höher und massiver als jetzt — das beweist allein schon die enorme Masse von Blöcken, Gletscherschlamm etc., welche, Scaninavien entstammend, vom westlichen Russland bis nach England zerstreut sind. Aber die wichtigste Ursache des Anwachsens des Eises muss in der Veränderung des Laufes und der Verminderung des Volumens des Golfstromes mit gleichzeitigem Untertauchen der Ebenen der genannten Länder gesucht werden, wodurch u. a. eine Verbindung der Ostsee mit dem weissen Meere durch den Ladoga und Onega erzeugt wurde. So konnten leicht Treibeis und Eisberge aus dem atlantischen Ocean über die jetzige Ostsee bis in die Gegend von Leipzig gelangen. Dadurch wurde ein maritimes und zugleich kaltes Klima erzeugt. Von den isoliert hervorragenden Gebirgen Grossbritanniens und Scandinaviens, von den Hügeln und Plateaus Finnlands, des NW.-Russlands stiegen Gletscher herab, welche allmählig die seichteren Meere füllten (die jetzigen Ebenen), dann die etwas tieferen (Ostsee und Nordsee), und endlich erreichte der mächtigste dieser Gletscher, von Scandinavien ausgehend, über Schottland den atlantischen Ocean. Den klimatischen Bedingungen der Gletscher ist durch meine Annahme genügt, und die Füllung so seichter Meere durch Eis ist ganz verständlich. Eine Höhe von 100 m ist eher unter als über dem Mittel für die Eisberge der Südpolarländer; wenn wir selbst ein Verhältniss von $1 : 7\frac{1}{2}$ zwischen dem Teile über dem Wasser und dem untergetauchten annehmen, so ist letzterer doch 750 m unter Wasser.

Die Ost- und Nordsee sind nirgends 200 m tief, und selbst wenn sie damals 200 m höher standen, als jetzt, so brauchten die Gletscher noch nicht 500 m hoch zu sein, um die beiden Meere zu leeren.

Wenn wir eine Steigung aller Ebenen (oder ein Sinken der Meere) annehmen, so braucht man gar nicht weit zu gehen, und Ost- und Nordsee sind geleert, England steht in Verbindung mit dem Kontinente von Jütland bis zur Bretagne und der Kontinent erstreckt sich noch über Irland nach Westen. In solchem Falle, die Entfernung vom Meere als massgebend betrachtet, hätte Königsberg ein kontinentales Klima wie jetzt Uralsk oder Orenburg — Orte an dem Rande der Kirgisensteppe. Eine Erhöhung von einigen Hundert Metern würde die Ungunst so kontinentaler Verhältnisse für die Erzeugung der Gletscher keineswegs aufwiegen — die Gobi

steigt höher an und hat selbst im Winter keine zusammenhängende Schneedecke.

In meiner Hypothese der Verdrängung der seichten Meere durch das Eis geht es Schritt für Schritt, das Eis tritt an die Stelle des Wassers und liefert selbst die Dämpfe zu weiteren Niederschlägen, und die Reflektion der Wärme durch den Schnee, die Nebel und Wolken erklären weiter, warum nicht viel schmilzt. Ausserdem ist zu bedenken, dass durch Erhöhung der Oberfläche des Eises in der Mitte des vergletscherten Gebietes die Luft gezwungen wird aufzusteigen und dass dadurch ergiebiger und bei einer niedrigeren Temperatur erfolgende Niederschläge entstehen. So wird in meiner Hypothese die Entfernung der Meere (durch deren Verdrängung durch das Eis) durch die Erhöhung des Eises ersetzt, und wenn letztere weit genug gegangen ist, so mögen selbst die Niederschläge des Sommers meistens als Schnee erfolgen. Ganz anders, wenn wir von mehr kontinentalen Verhältnissen ausgehen. Selbst bei weit höheren scandinavischen Gebirgen stösst dann die Bewegung des Eises auf unwiderstehliche Hindernisse: — die Wärme und Trockenheit des Sommers auf dem Kontinente, den Regenfall dieser Jahreszeit in Form von warmen Gewitterschauern, welche viel Eis abschmelzen, die Schneearmut der kalten Winter u. s. w. Ein höherer Wasserstand der Meere im Norden und Westen der Alpen und die Abkühlung dieser Meere durch die Ursachen, welche oben betrachtet wurden, erklärt die grosse Vergletscherung dieses Hochgebirges und der benachbarten Thäler und Hügelländer, vielleicht mag seine grössere Höhe und Masse auch dazu beigetragen haben. In Neuseeland reicht jetzt ein Gletscher bis zu einer Höhe, wo die mittlere Temperatur des Jahres 10° C. beträgt. In den Westalpen, wo jetzt auch das Klima gleichmässiger und feuchter ist und die Niederschläge der kälteren Jahreszeit vorwalten, mag es zur Höhe der Eiszeit resp. der Eiszeiten ebenso hergegangen sein. In den kontinentaleren Ostalpen mit ihren mehr ergiebigen Sommerregen mögen selbst dann, wie auch jetzt, die Gletscher keine Orte mit so hoher Temperatur erreicht haben.

Ebenso wie die Ostalpen zu den Westalpen verhalten sich die kontinentaleren kaukasischen Gebirge zu den Alpen; jetzt wie zur Höhe der Eiszeiten steigen die Gletscher weniger tief und bis zu Orten von weniger hoher Temperatur herab, als in dem centraleuropäischen Hochgebirge.

Die Frage, wie es damals in den Schwarzerde-Ebenen Central- und Südrusslands aussah, ist eine ziemlich umstrittene. Die Abwesenheit nordischer Findlingsblöcke und postpliocäner Meeresablagerungen (ausser hart am Schwarzen Meere und in der kaspischen Steppe) würde darauf deuten, dass diese Gegenden trockenes Land

und eisfrei waren. Spätere Funde von erratischen Blöcken haben darüber einigen Zweifel erregt, aber sie finden sich meistens in Thälern und konnten bei ihrer unbedeutenden Grösse auf Eisschollen dorthin gelangen, und sind dann von der Schwarzerde überlagert; letztere ist also jedenfalls ein späteres Gebilde. Viel mehr wie jetzt von Meeren umringt, in der Höhe der Eiszeiten grossen Eismassen benachbart, mussten diese Ebenen ein feuchteres Klima haben, als jetzt. Es mag eine Analogie bestanden haben zwischen den central- und südrussischen Ebenen zu jener Zeit und dem jetzigen Patagonien, nur ist letzteres trockener, weil von dem Meere und den Gletschern der Westküste durch Gebirge getrennt. Aber doch hat auch Patagonien kein eigentlich kontinentales Klima, es fehlt der scharfe Gegensatz von Winter und Sommer, die Winter sind dort mild, die Sommer kühl.

Ein Sinken der nördlichen Ebenen oder ein Steigen der Meere, überhaupt weniger Land und mehr Wasser im Norden Sibiriens mögen zu einer Ausdehnung der jetzigen Lokalgletscher in diesem Lande beigetragen haben und zur Entstehung derselben dort wo es jetzt keine giebt. Für den Altaï ist eine frühere grosse Ausdehnung der Gletscher negiert worden, vielleicht weil man Schiffe allein suchte. Kommt der Bergbau wieder mehr in Schwung, werden Eisenbahnen gebaut u. s. w., so werden sich wohl solche finden. Kropotkin hat im Olekminsk-Witimischen Gebirge (nordöstlich vom Baikal, südlich von der mittleren Lena) Blocklehm mit erratischen Blöcken gefunden — also Spuren einer früheren Ausdehnung der Gletscher. Wenn man bedenkt, dass dieses Gebirge bis zu 2000 m hoch ist, und in den Thälern eine Jahrestemperatur von -9° herrscht, so brauchen wir nur mehr Schnee und einen kühleren Sommer, um dies zu erklären. Das Untertauchen der Ebenen im Westen und Norden würde dazu genügen. Jedenfalls waren die sibirischen Gletscher mehr lokal, es war keine so tiefe Vergletscherung wie in Nord- und Mitteleuropa bis zum Fusse der mittel-deutschen Gebirge einerseits und im Umkreise der Alpen andererseits. Der kontinentale Charakter Asiens machte sich auch dann geltend, nur etwas gemildert gegen heute.

IX.

Central- und Ostasien sind ein höchst interessantes Gebiet für die hier behandelte Frage. Darin sind wohl die Geologen einig, dass von der pliocänen Zeit wenigstens die grossen klimatischen Züge des asiatischen Kontinents im ganzen unverändert dastehen. Die hohen Gebirge und Plateaus waren da, die innersten Teile des

Kontinents waren also durch hohe Gebirge von den feuchteren Gebieten im Norden, Westen und Süden getrennt. Die Folge solcher gut beglaubigter Thatsachen musste sein, dass diese Gegenden im eigentlichen Herzen Asiens äusserst trocken waren, wie sie es auch jetzt sind. Das früher die Depressionen der Gobi ausfüllende innere Meer (Han-hai) war jedenfalls hauptsächlich ausgetrocknet, bis auf einige unbedeutende Salzseen. Eine solche Trockenheit schliesst und schloss natürlich Gletscher aus, ausser einigen ganz kleinen in hohen Gebirgen, und ein so erfahrener Geologe wie Stoliczka hat wirklich keine Gletscherspuren in Ostturkestan gefunden. Selbst die Gletscher, welchen die wenigen Flüsse dieses trockensten Teiles von Asien entspringen, stammen meistens aus dem Firn der Randgebirge, und dieser Firn wird durch die feuchteren Winde aus Norden, Westen und Süden gespeist.

Die westliche Grenze dieses Gebietes bildet der Pamir, ein Gewirr sehr hoher Thäler und Plateaus, von verschiedenen Bergketten durchsetzt. Das Plateau und die Thäler sind sehr trocken, sollen aber doch im Winter Schnee haben, aber die Gebirge sind schneereich und haben auch Gletscher. Noch mehr ist dies der Fall bei der Alai-Kette, welche gegen das aralo-kaspische Gebiet abfällt und mächtige Gletscher bis zu 2700 m Höhe besitzt. Hier wie im Tiën-schan sind auch Spuren alter Gletscher niedriger als die jetzigen gefunden, aber nicht unter 2000 m Höhe, ebenso am Alatau und an der Alexander-Kette. Alles deutet darauf hin, dass zur Zeit der grössten Entwicklung der Gletscher dieselben zwar, der Höhe und Massivität der Gebirge entsprechend, eine grosse Ausdehnung hatten, aber jedenfalls nicht bis zur Ebene oder sogar zum Hügellande reichten, sondern immer den Charakter lokaler Gebirgsgletscher trugen. Auch jetzt existieren hier Bedingungen, welche Gletschern relativ günstig sind: die hohen Gebirge, welche den in höheren Luftregionen herrschenden Westwinden entgegenstehen, und die Verteilung der Niederschläge (das Maximum in der kälteren Jahreszeit). Die Schneemassen in den Gebirgen, welchen der Amu-Darja und seine Zuflüsse entspringen, sind gross; denn dieser Fluss hat ein sehr regelmässiges und bedeutendes Hochwasser, welches von der Schneeschmelze herrühren muss, und im mittleren Laufe ist der Sommer nahezu regenlos, im unteren sogar das ganze Jahr. Die Dämpfe für diesen Schnee werden wahrscheinlich von dem mittelländischen, schwarzen und kaspischen Meere geliefert, und die grösste Ausdehnung der Gletscher fiel wohl zusammen mit der grössten Ausdehnung des aralo-kaspischen Beckens und vielleicht mit dessen Vereinigung mit dem arktischen Oceane. Aber auch in jenen Zeiten waren die Ebenen und niedrigen Gebirge zu warm und trocken, um Gletscher zu besitzen. Möglich ist es hingegen,

dass der Pamir vergletschert war*) — bei der grossen Höhe desselben war nur mehr Feuchtigkeit und Schnee als jetzt dazu notwendig.

Der Karakorum, das südliche Randgebirge Ostturkestan's, hat auf seinem Südabhange mächtige Schneelagen und riesenhafte Gletscher, trotzdem das Hochland Ladak zwischen Karakorum und Himalaya sehr trocken ist. Aber das Gebirge ist so hoch, es überragt sogar den westlichen Himalaya so bedeutend, dass die feuchten SW.-Winde vom indischen Oceane ihm hinreichend Dämpfe zuführen. Eine bedeutende frühere Erstreckung der Gletscher ist aber nicht gefunden worden — wohl ein Beweis, dass, seitdem der Himalaya aufstieg, sich die klimatischen Bedingungen nicht geändert haben.

In dem östlichen Teile des asiatischen Hochlandes nördlich von 34° N. ist das Klima nicht so trocken wie in Ostturkestan, namentlich sind die Sommerregen häufiger, aber doch sind die Bedingungen einer Ansammlung von Eis nicht günstig. In diesen Ländern — dem nördlichen Tibet, dem Berglande von Kansu, dem Kukunor-Gebiete und der östlichen Mongolei**) ist schon das Monsunklima sehr ausgeprägt — ein kalter aber schneeärmer Winter mit klarem Himmel und dem Vorwalten trockener NW.-Winde vom Inneren, ein trockener und stürmischer Frühling mit abwechselnden SW.- und NW.-Winden, im Sommer häufigere feuchtere Südostwinde mit mehr Bewölkung und Niederschlag als in den anderen Jahreszeiten, aber doch auch trocken, so ist im Ganzen das Klima dieser Plateauländer. Im Berglande Kansu ist es viel feuchter: im Sommer häufige, fast beständige Regen, auch im Herbst und Frühling viel Niederschlag, aber der Winter überwiegend heiter und schneearm. Um nur die letzten und ausgedehntesten Reisen in diesen Gebieten zu erwähnen, so fand Przewalski in der Gobi und der südöstlichen Mongolei im Winter nirgends eine tiefe Schneelage, es lag entweder ganz wenig oder gar kein Schnee, bei Temperaturen von — 20° und darunter. Selbst in dem so feuchten Berglande von Kansu mit seiner üppigen Vegetation fällt im Winter wenig Schnee, so dass schon im März, wenn sich die Temperatur am Tage kaum über 0° erhebt und jede Nacht tief darunter sinkt, der Schnee nur an den Nordabhängen liegen blieb, sonst war er verschwunden. Alle Berge unter 4500 m hatten schon im Juni keinen Schnee, nur in Höhen von 5000 m war permanenter Schnee zu finden, und dieser möchte wohl von den Niederschlägen des Sommers herrühren, welche wegen der Höhe als Schnee erfol-

*) Nach mündlicher Mitteilung Herrn Ssäwerzow's war dies teilweise der Fall.

**) Ausführlicheres über diese Gegenden findet sich in der: Zeitschr. f. Meteorologie, Bd. XII S. 369 und Iswestia der russ. geogr. Ges. 1880.

gen. Auch in den Hochländern Kukunor und Zaidam (2500 bis über 3000 m lag) am Ende des Winters kein Schnee, Mitte März sogar keiner auf dem Passe über das Süd-Kukunor-Gebirge (über 4000 m). In den grösseren Höhen, im nördlichen Tibet, fand Przewalski nirgends im Winter eine permanente Schneelage, wenigstens nicht bis auf 5000 m Höhe; es fielen wohl kleine Mengen Schnee, sie wurden aber durch die Winde mit Sand und Thon gemengt und thauten rasch an der Sonne, trotzdem die Mitteltemperatur unter -15° war, aber freilich mit enormen täglichen Amplituden, so dass gegen Mittag die Temperatur oft bis an den Gefrierpunkt stieg.

Es ist hieraus zu sehen, dass das Monsunklima dieser Gegenden einer Ansammlung von Schnee und Gletschern nicht günstig ist, und zwar weil der Winter heiter und trocken und die Niederschläge hauptsächlich im Sommer fallen und dann bis in grosse Höhen als Regen. Bei dem Schneemangel im Winter erwärmen sich Boden und Luft rasch im Frühling, weil die so sehr abkühlende Schneeschmelze fehlt, und dabei wird die Luft sehr trocken, und diese Trockenheit der Luft ist einer Verdunstung des Schnees sehr günstig in den wenigen Berggegenden, wo etwas mehr davon im Winter fällt. Ein Klima ebenso ungünstig einer Ansammlung von Eis und Schnee musste hier seit der Pliocänzeit geherrscht haben und daher mussten diese Gebiete auch damals keine Gletscher gehabt haben, als Europa tief vereist war. Wirklich ist in der südöstlichen Mongolei, welche allein in geologischer Hinsicht etwas bekannt ist, von Pumpelly und v. Richthofen nichts gefunden, was auf alte Gletscher deutet, und doch waren beide Geologen in diesen Dingen erfahren genug und studierten die dortigen Lössgebiete mit grosser Aufmerksamkeit.

Auch in China, der Mantschurei und dem Amurlande, wo das Monsunklima mit seinen, den Gletschern ungünstigen Bedingungen herrscht, existieren jetzt keine Gletscher und sind auch keine früheren nachgewiesen. Für China haben wir dafür die Zeugnisse von Pumpelly und v. Richthofen*), für die Armurländer von Fr. Schmidt**). Dieses Resultat der Forschungen der Geologen ist vollständig im Einklange mit den Forderungen der Klimatologie. Waren seit der

*) Derselbe sagt über die Hochländer des östlichen Hochasiens und China's: „Ein positiver Belag (für die Trockenheit des Klima's) ist, dass China während der diluvialen Eiszeiten mit Gletschern nicht bedeckt war, auch nicht auf den höchsten Gebirgen, so weit sie mir bekannt geworden sind. Und doch war das Land damals höher als jetzt“. China, Bd. I S. 110.

***) Hr. Schmidt hat mir noch vor kurzem persönlich bestätigt, dass er auf seinen Reisen im Amurlande nichts sah, was auf alte Gletscher deutete.

pliocänen Zeiten die Gebirge und Plateaus da, ungefähr wie sie jetzt sind, so mussten auch die Gletscher fehlen, denn die höchsten Gebirge gewähren Schutz vor den Südwinden, im Winter erkalten die niederen Plateaus der Mongolei und die Niederungen und Hügelländer Ostsibiriens; der Luftdruck ist dort beständig hoch und die Winde überwehen von dort China und die Küstenländer bis zum Ochotskischen Meer, weil hier die Bergketten nicht hoch genug sind, um den Luftaustausch zu verhindern. Im Sommer hingegen ist der Luftdruck im Inneren niedrig, und die Winde kommen vom Meere, Trübung und Niederschläge bringend. Das Monsunklima musste also in seinen Hauptzügen seit der Pliocänzeit bestehen und auch dessen Folge — der Mangel an Gletschern.

Eine theilweise Ausnahme will ich nur für die hohen Gebirge im SW. China (Yünnan, Szechuan) und dem östlichen Tibet gelten lassen, welche, gegen die Plateaulandschaften des Inneren durch Gebirge geschützt, ein weniger ausgeprägtes Monsunklima und theilweise viel Schnee in den Gebirgen haben, aber doch bedeutend weniger als der Himalaya und Karakorum.

Welche Änderungen bei grosser Excentricität der Erdbahn konnten in den Monsungegenden Ostasiens vorgehen? Bei dem Winter im Aphelion musste der winterliche, trockene NW.-Monsun stärker sein als jetzt, weil in der Mitte des Winters im Inneren tiefere Kältegrade und wahrscheinlich höherer Luftdruck herrschten. Also unter den Verhältnissen, welche einige Geologen als den Gletschern günstig bezeichnen, war hier die Luftströmung, welche die Schneearmut bewirkt, stärker und daher wohl noch weniger Schnee und noch ungünstigere Verhältnisse für die Gletscher vorhanden. Der feuchte Sommermonsun musste auch energischer auftreten, weil die Hitze und Auflockerung der Luft im Inneren grösser waren als jetzt, aber diese konnte nur in sehr hohen Lagen, etwa über 5000 m, einer Ansammlung von Schnee günstig sein. Hingegen bei dem Winter im Perihelion bei grosser Excentricität, wobei nach einigen Geologen Wärme bis an den Pol herrschen und kein Eis und Schnee dort selbst im Winter sein sollte, war in den Monsungegenden etwas grösserer Schneefall möglich, wegen des weniger intensiven Auftretens des trockenen NW.-Monsuns. Jedemfalls aber sind in diesen Gegenden die Hauptzüge des Klimas so scharf ausgeprägt und den Gletschern so ungünstig, dass die beiden betrachteten Fälle nur wenig Einfluss haben konnten.

Die Westseite von Nippon, obgleich unter dem Einflusse der asiatischen Monsune stehend, hat ergiebige Niederschläge im Herbst und Winter, denn der ursprünglich trockene W. und NW. sättigt sich mit Dämpfen über dem warmen japanischen Meere. Daher

sind selbst die niederen Gebirge tief in Schnee gehüllt*), oft liegt er auch in der Ebene bis zum 36° N. 1—2 Monate, trotzdem selbst in Niigata (38° N.) die Mitteltemperatur des Januar nicht unter 0° sinkt**). Bis zum August liegt meistens Schnee auf den höheren Bergen der Westabdachung (2—3000 m). Die Ostseite Japans ist im ganzen trockener im Winter, aber auch dort fallen grosse Schneemassen in den Bergen, wenn einmal der Wind vom warmen Kuro-Siwo kommt. Permanenter Schnee und Gletscher fehlen in Japan wegen der Wärme des Sommers. Aber es fehlt nicht an Spuren früherer Gletscher, freilich nur in den Gebirgen, und auch die klimatologischen Gründe sprechen nicht dagegen. In vielen Gegenden Japans ist schon jetzt im Winter so viel Schnee, dass es nur geringer Änderungen bedarf, ihn permanent zu machen. Zu solchen sind zu rechnen eine Verminderung des Volumens oder eine Änderung der Lage des Kuro-Siwo, was Dämpfe einer niedrigeren Temperatur liefern würde, für die Westseite eine grössere Beständigkeit und Stärke des winterlichen W. und NW. (die Gründe eines solchen sind oben gegeben worden), für die Ostseite hingegen eine geringe Stärke und Beständigkeit der dort trockenen W.- und NW.- und häufigere S.- und SO.-Winde.

X.

In Nordamerika sind Spuren alter Gletscher in der Californischen Sierra Nevada, den Rocky Mountains und anderen hohen Gebirgen gefunden, dann aber eine Vergletscherung in grossartigem Maasstabe im Osten, westlich über den Mississippi, südlich bis zum 40° oder 41° N. reichend. Es ist schon seit einigen Jahren von den amerikanischen Geologen erkannt, dass dort, wo keine Eisschicht im Westen war, auch jetzt das Klima sehr trocken ist***). Auch nördlich davon, auf britisch-canadischem Gebiete, sind von G. M. Dawson charakteristische Moränenhügel bis an den nördlichen Saskatchewan, 550 k westlich vom Winnipeg-See, verfolgt, weiter westlich aber nicht †).

So sehr fällt die frühere Erstreckung des Eises mit den jetzigen Niederschlägen zusammen, dass eine kleine Region im Staate

*) Rein, Japan.

**) Klima von Japan, in der: Zeitschr. f. Meteorologie, Bd. XIII, S. 1, 25.

***) „I have accounted for the absence of northern drift from the interior of North America — over the great region between Western Iowa and the Sierra Nevada of California and the country North to an undetermined distance — an account of the dryness of the climate in connection with the heat of the summer“. Dana in Silliman's Journal, vol. XV p. 250.

†) Quart. Journ. Geol. Soc., vol. XXXI p. 614.

Wisconsin, welche im Jahre unter 800, im Winter unter 100 mm Niederschlag hat, völlig eisfrei war, während die jetzt an Niederschlägen reicheren Regionen im Norden, Osten und Süden vergletschert waren. Freilich im Westen ist eine Ausnahme von der Regel: diese Gegenden waren vergletschert, obgleich jetzt trockener, aber dorthin verbreitete sich das mächtigste Eis vom Oberen See aus, denn diese Länder lagen in der allgemeinen Richtung des Kontinentaleises von Nordamerika (NE.-SW.)*).

Ich will noch bemerken, dass auf keinem Kontinente der Nord- und Südhalbkugel in mittleren Breiten so ausgedehnte Regionen ergiebige Niederschläge haben wie der Teil der Vereinigten Staaten vom atlantischen Ocean bis zum Mississippi und sogar etwas jenseits, fast überall über 800 mm im Jahre, in dem grössten Teile über 1000, und auch im Winter erhebliche Mengen. Auf anderen Kontinenten in mittleren Breiten sind so ergiebige Niederschläge höchstens auf die Meeresküsten oder auf die Höhe von Gebirgen beschränkt. Also der Kontinent, welcher am meisten Niederschläge hat, war auch am tiefsten vergletschert. Dass in Nordamerika das Eis so weit nach Süden reichte, ganze 10° mehr als in Westeuropa, ist schon oft in Verbindung mit der Verteilung der Temperatur gebracht worden, Europa sei auch damals wärmer gewesen und daher hätte das Eis auch nicht mehr nach Süden gereicht. Das Beispiel von Ostasien zeigt, wie vorsichtig man mit solchen Schlüssen umgehen sollte: trotzdem es dort kälter ist, war dort unter denselben Breitengraden kein Eis.

Wie in Nord- und Nord-Central-Europa das Untertauchen der Ebenen und die hergestellte Verbindung mit dem arktischen Oceane über die jetzige Ostsee sehr viel wenigstens zur Einleitung der grossen Gletscher beitrug, so ist es wahrscheinlich, dass in Nordamerika durch Sinken des Landes oder Steigen der Gewässer das Meer von der Hudsonsbai über den Oberen See zur jetzigen Mississippi-Niederung reichte und dies die Gletscher einleitete. Denn eine solche Änderung in der physikalischen Geographie musste ein kaltes Seeklima bringen, also viel Dämpfe niedriger Temperatur verbreiten, und dies ist zur Bildung grosser Eisschichten notwendig. In einem Hochgebirge können natürlich Gletscher entstehen, auch wenn die Dämpfe ursprünglich sehr warm waren — sie kühlen sich eben durch das Aufsteigen ab, aber das betrachtete Gebiet besteht überwiegend aus Ebenen, Hügelland und wenig hohen Gebirgen (die höchsten Teile der Apallachen reichen wenig über 2000 m); also scheint mir eine kalte Meeresfläche, welche ursprüng-

*) Dana l. c. p. 253. S. auch andere Arbeiten desselben in Silliman's Journal von 1873 an.

lich schon Dämpfe niedriger Temperatur liefert, zur Existenz grosser Eisflächen in diesem Gebiete notwendig. Bei den hier zwischen 40° — 60° N. sehr vorwaltenden Westwinden (WSW. bis NW.) war namentlich ein kaltes Meer im Westen sehr günstig dazu, denn es lieferte einerseits die zur Erzeugung von Schnee nötigen Dämpfe und dann verhinderte es den Einfluss der westlicher gelegenen auch dann trockenen und im Sommer warmen Steppen und Wüsten. Bei der Ausdehnung der Eisschicht konnte dieses Meer allmählig mit Eis gefüllt werden, während die jetzigen grossen Seen vielleicht auch dann, wegen ihrer grossen Tiefe, teilweise nicht mit Eis gefüllt wurden.

Ich habe schon früher der Vergletscherung der Küste Brasiliens und der benachbarten Gebirge erwähnt. Es ist kein Zufall, dass uns derartiges von ähnlichen Breiten der Nordhemisphäre nicht bekannt ist, obgleich dieselbe geologisch viel besser erforscht ist. Alles deutet aber darauf, dass die Intensität der Vergletscherung wie jetzt, so auch in früheren Zeiten grösser war auf der südlichen Hemisphäre. Zur Vergletscherung Brasiliens waren gegen die jetzigen verschiedene physikalisch-geographische Verhältnisse nötig, mehr vergletscherte Länder in höheren südlichen Breiten, also eine grössere Stärke der kalten Strömungen von dort mit viel mehr Eisbergen beladen als jetzt, oder aber vielleicht im ganzen keine intensivere, aber so gerichtete Strömung, dass die grösste Masse kaltes Wasser und Eis gerade Brasilien traf und natürlich, dass die jetzige warme brasilianische Strömung einen anderen Lauf hatte. Wer sich Rechenschaft davon gibt, wie wenig die Wärme vieler Gegenden auf unserer Erde der an Ort und Stelle empfangenen Sonnenwärme entspricht, wie sehr kalte Meeresströmungen und die Eisschmelze abkühlen können, und dann Wolken und Nebel die direkte Wirkung der Sonnenstrahlen mindern — der wird in der Vergletscherung Brasiliens keine physikalische Unmöglichkeit sehen, und auch zur Erklärung derselben nicht zu völlig unbewiesenen Hypothesen Zuflucht nehmen, wie eine verminderte Sonnenwärme, der Durchgang durch besonders kalte Welträume etc., sondern sich mit den auf der Erde jetzt wirkenden Ursachen begnügen, nur eine besondere Kombination derselben erfordernd. Weiter muss zugegeben werden, dass eine sehr kleine Wahrscheinlichkeit existiert, dass jemals etwas Ähnliches wieder zutrifft.

XI.

Ich muss noch eine Frage erörtern, welche nicht ganz ins klimatologische Gebiet gehört: ist es möglich, dass jemals auf unserer Erde sogenannte Eiscalotten den Teil einer Halbkugel zwischen dem Pol und 50° oder 45° vollständig bedeckt haben?

Ich würde es aus zwei Gründen verneinen: 1) sind grosse Kontinente in mittleren Breiten zu trocken, als dass sie völlig eisbedeckt sein könnten, 2) sind offene und tiefe Meere zu bewegt, als dass sie ganz gefrieren könnten. Immer und immer wird das Eis von Winden und Strömungen zerbrochen und endlich wärmeren Meeresteilen zugeführt, wo es thaut.

Wenn die Verteilung von Land und Meer, grossen Tiefen und ausgedehnten Hochländern in beiden Halbkugeln seit der pliocänen Zeit nicht grundverschieden von der jetzigen war, so musste immer in der südlichen Hemisphäre die enorme Ausdehnung tiefer Meere einer so allgemeinen Eisschicht entgegen wirken, in der nördlichen aber die grosse Ausdehnung solcher Kontinente, wo niemals einer Ausdehnung des Eises günstige klimatische Verhältnisse herrschten, — so z. B. Central- und Ostasien, Sibirien, die Steppen und Wüsten des centralen und westlichen Nordamerika.

Selbst in den beschränkteren Gebieten, wo Kontinentaleis nachgewiesen ist, ist es sehr die Frage, ob dessen grösste Ausdehnung für verschiedene Gegenden derselben Hemisphäre in dieselbe Zeit fiel. Mir scheint eine gesunde Kritik der Thatsachen eher gegen eine solche Gleichzeitigkeit zu sprechen. Um die ausgedehntesten Gebiete mittlerer Breiten zu nehmen, scheint es mir eher wahrscheinlich, dass das östliche Nordamerika einerseits und Nord- und Centraleuropa andererseits nicht zugleich unter tiefem Eise vergraben waren. Jedoch dies stelle ich nur als eine Vermutung auf, während die Unmöglichkeit der sogenannten Eisschollen vom Pol bis zum 45° oder 50° vollständig feststeht.

Somit ist also auch die Unmöglichkeit der grossen Verrückung des Schwerpunktes unseres Planeten durch Anhäufung von Eis auf einer Hemisphäre, wie sie Croll*) vermutete, dargethan, und also auch die der daraus resultierenden grossen Steigung der Meere auf derselben Halbkugel. Aber wenn ich auch diese geistreiche Hypothese verwerfe, so scheint sie mir doch bemerkenswert darin, dass die dunkle Ahnung eines Zusammenhanges der Eiszeiten und der grossen Erstreckung der Meere diesem begabten Forscher nicht entgehen konnte, trotzdem seine Vorstellungen über die Klimate der Vorzeit oft so abenteuerlich sind und er namentlich über die klimatischen Verhältnisse grosser Kontinente so wenig unterrichtet ist. Auch die bekannte Schmick'sche Hypothese bringt die Steigung der Gewässer in Zusammenhang mit den Eiszeiten, aber nicht in causalen.

Ist es aber nicht Zeit, diese beiden Erscheinungen in causalen Zusammenhang zu bringen? In höheren mittleren Breiten, etwa 40° — 70° ist eine grössere Ausdehnung der Meere in zweifacher

*) In seinem Buche „Climate and Time“.

Hinsicht den Eisverhältnissen auf den über Wasser gebliebenen Teilen günstig: 1) weil die trockenen Kontinentalflächen verringert und den Meeren näher gebracht werden, bei gleichzeitiger Steigerung der Evaporationsfläche, 2) weil die ausgedehnteren Meere weniger von tropischen Gewässern erwärmt werden können, schon darum, weil sich das warme Wasser auf eine grössere Quantität kaltes verteilt.

Eine Vergleichung der beiden Halbkugeln beweist dies am besten: die nördliche hat wenig Eis in mittleren Breiten, weil das Innere von dessen Kontinenten, wenn auch kalt, zu trocken dazu ist; auf den Inseln und an den Westküsten ist Feuchtigkeit genug vorhanden, aber die Ozeane der nördlichen Hemisphäre sind so wenig ausgedehnt, dass sie von tropischen Gewässern warm genug gehalten werden, um eine ausgedehnte Vergletscherung zu verhindern.

In der südlichen Halbkugel ist fast überall genug Feuchtigkeit zu Gletschern vorhanden, und auch die Temperatur der Meere und der Luft ist nicht zu hoch, denn das zukommende warme Wasser reicht nicht aus, die ausgedehnten Meere der mittleren Breiten genügend zu erwärmen.

Also ist das Untertauchen der Ebenen unters Meer (resp. die Steigung der Gewässer desselben über die Ebenen) eine der ersten Bedingungen, um frühere ausgedehnte Eisschichten zu erklären. Wenn viele Geologen dabei gleich an eine Hebung der Ebenen denken, so scheint mir dies ein Irrtum zu sein, denn dabei würden die benachbarten seichten Meere zu Ebenen und also das Klima mehr kontinental. Hingegen zur Erklärung lokaler Gletscher in Gebirgen ist eine Hebung zulässig, schon weil sie in diesem Falle viel grösser gedacht werden kann, als bei Ebenen. Aber auch für Gletscher in jetzt trockenen Gebirgsgegenden mag das Untertauchen der nahen Ebenen ebenso und sogar noch mehr zutreffen.

In den höchsten Breiten (etwa 70° — 90°) mag die Existenz hohen Landes der Vergletscherung günstig sein, namentlich wenn in den nahen Gegenden mittlerer Breiten Meer vorhanden ist. Dann werden die höchsten Breiten nicht nur selbst Gletscher tragen, sondern durch die von ihnen absteigenden Eisberge auch die Meere der mittleren Breiten abkühlen und also wiederum die Existenz von Gletschern auf den Inseln derselben befördern*). Das beste Exempel bietet uns wiederum die südliche Halbkugel.

Ich habe oben (Kap. VII S. 253) die Gründe gegeben, welche gegen die Annahme so häufiger und so warmer Interglacialperioden sprechen, wie sie die Hypothese Croll's annimmt. Aber freilich sei damit nicht gesagt, dass nicht zwischen zwei Perioden

*) Für die dabei vorgehenden Wärmereaktionen siehe Kap. II, S. 226.

grösserer Erstreckung des Eises an denselben Orten nicht Süss- oder Seewasser geschichtete Strata absetzte, andererseits auch nicht eisbedecktes Land war. Nur mit den Hypothesen grosser Wärme ist vorsichtig umzugehen. Eine grössere Erstreckung wenn auch gletscherfreier Kontinente, konnte sehr gut mit einem sehr kalten Winter vereinigt sein, etwa wie jetzt in Sibirien und dem nördlichen Nordamerika. Nur der Sommer musste im Innern der Kontinente wärmer sein.

Es ist früher oft aus der Verbreitung grosser Säugetiere (Mammut etc.) auf ein mildes Klima geschlossen worden. Es ist erfreulich, dass die Paläontologen hierin mehr und mehr unterscheiden und namentlich für das Mammut kein warmes Klima mehr fordern. Immer aber wird in den Betrachtungen über frühere Verbreitung der Säugetiere oft gesündigt. Wer hat nicht gelesen von der prachtvollen Kollektion grosser Säugetiere, welche Przewalsky heimbrachte? Wie würden unsere Urteile sich a priori über Vegetation und Klima der Länder gestalten, aus welchen diese Tiere stammen, wenn sie z. B. fossil wären? Eine üppige Vegetation hätte jedenfalls wohl sich als wahrscheinlich gezeigt. Und doch stammen die grössten Tiere aus dem trockensten Teile Asiens, ein grosser Teil aus dem hohen, im Winter furchtbar kalten, trockenen und stürmischen Nordt Tibet, wo die Vegetation sehr dürftig ist. Das gut bewässerte Bergland Kansu mit seiner üppigen Vegetation lieferte viel weniger. Im grossen und ganzen mussten die Interglacialperioden von einer grösseren Erstreckung der Kontinente in denselben und benachbarten Gegenden abhängen. Die beim Abschmelzen der Gletscher gebildeten Seen und die Flüsse haben die geschichteten Strata abgesetzt, welche man oft findet, und durch die Seen mag auch das Klima lange feucht geblieben sein. Später und bei grösserer Entwicklung der Kontinente mag es trockener geworden sein, mit kalten Wintern und warmen Sommern.

XII.

Ich will nun die Hauptpunkte dieser Arbeit kurz zusammenfassen:

1) Das Wasser mildert die Gegensätze der Temperatur absolut, sowohl in Raum als in Zeit.

2) Ausser der grossen Wärmecapazität des Wassers haben die Änderungen seines Aggregatzustandes einen sehr wichtigen Einfluss auf die Klimate.

3) Dadurch werden noch wichtigere Wirkungen in Raum und Zeit ausgeübt. Durch die Bildung des Schnees werden z. B. höhere Luftschichten in der Nähe des Südpoles erwärmt. Der Schnee, zu

Gletschereis geworden, gelangt nach Hunderten von Jahren zur Küste und schwimmt dann als Eisberg vielleicht bis zum 40° S., wo die von dem Schmelzen resultierende Abkühlung vorgeht.

4) Durch das Wasser in flüssiger Form, die Änderungen seines Aggregatzustandes und seine Verbreitung in Dampfform (namentlich Wolken, Nebel) wird überall auf der Erde der Winter viel wärmer, der Sommer viel kälter, als nach der an Ort und Stelle empfangenen Sonnenwärme resultieren müsste.

5) Einen besonders grossen Einfluss auf Milderung der Temperaturgegensätze haben die Meeresströmungen, deren direkte Wirkung grösser ist als diejenige der Winde.

6) Die Winde sind in dieser Hinsicht wichtig, weil sie die Temperaturen der Meeresströmungen weiter verbreiten.

7) Die Winde müssen als das erste Motiv der Meeresströmungen anerkannt werden, welche aber wieder von der Lage der Kontinente und Inseln und durch die Gestalt des Meeresbodens beeinflusst werden.

8) Besonders wichtig sind die Passatwinde wegen ihrer Beständigkeit, wie auch dadurch, dass sie teilweise über den Äquator hinaus in die andere Hemisphäre reichen und somit warmes Wasser transportieren.

9) Jetzt reicht der SO.-Passat im Atlantischen und Stillen Ocean weit über den Äquator in die Nord-Hemisphäre hinein, wodurch eine grosse Menge warmen Wassers von der Süd- in die Nord-Hemisphäre transportiert wird.

10) Dies ist die Ursache der grösseren Wärme der Nord-Hemisphäre, zwischen 40° — 59° N.

11) Diese zeigt sich besonders auf den Ozeanen und an den Westseiten der Kontinente, nördlich von 40° N. Br. im Vergleich zu denselben Breiten der südlichen Halbkugel; gerade wegen der unbedeutenden Erstreckung der Meere, nördlich von 40° N. Br., concentriert sich daselbst die Wirkung der warmen Meeresströmungen.

12) Die niedrige Temperatur auf den Meeren der Süd-Hemisphäre, in höheren Breiten als 40° , wird dadurch erklärt, dass ein grosser Teil des warmen Wassers aus den Tropen der südlichen Hemisphäre durch die Strömungen in die Nord-Hemisphäre gebracht wird, also den mittleren und höheren südlichen Breiten nicht zu Gute kommt, der Rest aber sich in den weitausgedehnten Meeresräumen so zu sagen verliert.

13) Die grosse Erstreckung der Meere, südlich von 40° Süd-Breite, ist der Entwicklung der Gletscher günstig. Die Grösse und Tiefe der Ozeane lässt auch in höheren Breiten keine beständige Eisdecke zu, während die relativ unbedeutenden warmen Strömungen auch in mittleren Breiten eine niedrige Temperatur der Oberfläche ermöglichen. So existiert denn auf den grossen Meeresräumen der

Süd-Hemisphäre eine Temperatur von etwas über und unter 0° , die günstigste für Bildung von Schnee und Gletschern.

14) Daher erstrecken sich die Gletscher z. B. in Neuseeland bis zu einer Lufttemperatur von 10° C.

15) Auf der Nord-Hemisphäre sind die jetzigen Verhältnisse den Gletschern ungünstig, weil die Oceane derselben durch warme Strömungen erwärmt sind, so dass bis in ziemlich hohe Breiten die Niederschläge mehr in der Form von Regen als von Schnee fallen; dagegen sind die mittleren und östlichen Teile der Kontinente zu trocken.

16) Daher fehlen in Ostsibirien Gletscher selbst in Gebirgen, wo die mittlere Temperatur des Jahres -15 bis -16° beträgt.

17) Besonders ungünstig für Gletscher sind Hochasien wegen seiner Trockenheit und Ostasien wegen seines Monsunklimas. Haben sich, wie allgemein angenommen, die Hauptzüge dort seit der Pliocänzeit nicht geändert, so konnten hier auch keine grossen Gletscher existiert haben. Selbst das Untertauchen der chinesischen Ebene konnte daran nichts wesentliches ändern.

18) In Japan sind die Verhältnisse verschieden, weil der auf dem Kontinente trockene Wintermonsun dorthin feucht ankommt und grosse Schneefälle bewirkt. Frühere Gletscher in den Bergen Japans sind möglich.

19) Um die grossen Gletscher zu erklären, deren Spuren man in Europa aufgefunden hat, muss man für West-Europa zu jener Zeit eine, um einige Grade niedrigere Temperatur annehmen, etwa durch Verminderung der Wassermenge oder Veränderung des Laufes des Golfstromes. Für Schweden, Finnland, das nordwestliche Russland müssen wir jedenfalls damals einen kälteren Sommer und eine viel grössere Schneemasse annehmen. Die zu dieser Zeit bestehende Verbindung des weissen und baltischen Meeres durch den Ladoga- und Onega-See mag viel zu einem solchen Klima beigetragen haben. Die Tschernosem-Gegend, d. h. ein grosser Theil von Südrussland, welcher weder unter Wasser war, noch Gletscher besass, muss ein viel gemässigeres Klima gehabt haben, etwa wie jetzt die patagonischen Pampas.

20) Der grossen Entwicklung der Gletscher musste ein Untertauchen der Ebenen unter das Meer vorhergehen.

21) Bei grosser Excentricität der Erdbahn und dem Winter im Aphelium müssen, bei sonst gleichen Bedingungen, die Winter kälter, die Sommer heisser sein. Daher mussten die Monsune Ostasiens zu dieser Zeit stärker sein als jetzt, und also noch entschiedener der Schnee- und Gletscherbildung entgegenwirken. Der Winter im Perihelium musste im Inneren wärmere Winter und kältere Sommer gegeben haben, daher auch schwächere Monsune.