
This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

<https://books.google.com>





Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.

Gletscher- und Eiszeiten

in ihrem

Verhältnisse zum Klima.

Von

Dr. Alexander von Woeikof.

(Separat-Abdruck aus der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. 1881. 3. Heft.)

Envoyé par l'auteur.

Adresse:

PANTELEIMONOWSKAJA, 7.

St. PETERSBOURG.

Die Lehre von den Eiszeiten, wie sie jetzt in der Geologie feststeht, bietet uns das Beispiel eines erstaunlichen Scharfsinnes und Fleisses, namentlich wenn man bedenkt, wie schwierig die Aufgabe, wie kurz die Zeit, in welcher die maassgebenden Arbeiten geschahen, und wie stark das Vorurteil dagegen im Anfange war.

Kaum in den zwanziger Jahren anfangend, war die jetzige Gletschertheorie ausserhalb ihres Geburtslandes, der Schweiz, noch so wenig anerkannt, dass Agassiz ausgelacht wurde, als er um 1840 zu behaupten wagte, Schottland wäre einst mit einer dicken Eisschicht bedeckt gewesen; es vergingen keine zwanzig Jahre, und seine Hypothese war fest begründet, und jetzt sind die früheren Gletscher Schottlands besser bekannt, als diejenigen irgend eines Landes, die Schweiz vielleicht ausgenommen. Für die Länder im Nordosten Europa's war die Erkenntnis noch später, und die frühere Eisbedeckung Finnlands und des Gouvernement Olonetz wurde nur durch die Arbeiten Kropotkins und Inostranzews endgültig bewiesen. Denn trotz früherer gediegener Arbeiten machten sich noch bis zu den siebziger Jahren Zweifel geltend. Die Erkenntnis der Vergletscherung der norddeutschen Ebene ist noch jüngerem Datums. Es ist nötig, einige solche Thatsachen zu citieren, um sich der errungenen Erfolge bewusst zu werden.

Bis jetzt haben die Geologen namentlich zwei Hauptfragen erörtert: 1) den Mechanismus der Bewegung der Gletscher; 2) die Spuren, welche das früher vorhandene Eis auf der Oberfläche der Erde hinterliess, d. h. die erratischen Blöcke, den Gletscher- oder Blochlehm, Schrämme, roches montonnées. Die erste dieser Fragen ist in den letzten Jahren ausserordentlich scharfsinnig bearbeitet worden, und man kann wohl mit Recht behaupten, dass die Theorie vollkommen fest steht, und dass es hier wohl nur weiter zu bauen und Details zu verbessern gilt. Auch den Spuren der Eiszeit ist mit staunenswertem Scharfsinn und Thatkraft nachgeforscht, und einige Gegenden Europa's und Nordamerika's sind in Betreff der Spuren früherer Eiszeiten sehr gut bekannt, und jedes Jahr bringt neue Arbeiten.

Anders ist es mit den Fragen über die Ursachen der Entstehung der Gletscher und ihrer früheren grossen Verbreitung.

Diese Fragen sind freilich oft erörtert worden, aber wir finden hier bei Weitem keine so bedeutenden und namentlich feststehenden und unanfechtbaren Resultate, wie in den früher erwähnten. Dies ist wohl dadurch zu erklären, dass diese Fragen eher zum Gebiete der Meteorologie und Klimatologie gehören, die Meteorologen aber sich bis jetzt wenig damit beschäftigt haben. Es giebt in der Gletscherfrage eine genügende Menge feststehender Thatsachen, und nun ist es die Pflicht der Meteorologen, ihrerseits an die Erklärung der Proben zu schreiten.

Die Frage über die klimatischen Ursachen der Eiszeiten lässt sich am besten beantworten, indem wir von dem mehr Bekannten zu dem weniger Bekannten, oder von den Erscheinungen der Jetztzeit zu denen früherer Zeiten schreiten.

I.

Da die Gletscher der jetzigen Zeit sich in Polargegenden und in hohen Gebirgen der gemässigten Zone finden, so war es ganz natürlich, dass die ersten Erforscher der früheren Gletscher zu deren Erklärung zu einer niedrigen Temperatur griffen. An Hypothesen zur Erklärung dieser niedrigen Temperatur fehlte es nicht: die Einen behaupteten, die Sonnenstrahlen seien während der Eiszeit weniger warm gewesen, als jetzt; Andere liessen die Erde dann durch sehr kalte Himmelsregionen gehen, noch Andere vermuteten, die Berge, an denen jetzt Spuren früherer Gletscher gefunden werden, seien damals um etliche Tausend Meter höher gewesen als jetzt. Die ersten Forscher liessen die Quantität Schnee, welche nötig ist, um Gletscher zu bilden, ganz ausser Acht. Nur allmählich dämmerte die Erkenntnis, dass dazu enorme Quantitäten Wasserdampf nötig seien. Und noch jetzt scheint dieses nicht allen Geologen, welche sich mit der Gletscherfrage beschäftigen, vollständig klar zu sein. Daher muss ich dieses Thema etwas ausführlicher behandeln.

In Ostsibirien, wo überall, einen Teil des Amurgebiets und des Gouv. Jenisseisk ausgenommen, die Mitteltemperatur des Jahres unter 0 sinkt, giebt es nur am Berge Munko-Sardyk kleine Gletscher. In anderen Teilen des grossen Landes fehlen sie. Und doch ist ein grosser Teil Ostsibiriens gebirgig, so dass den Gletschern günstige topographische Bedingungen vorhanden sind. So z. B. ist die mittlere Temperatur des Jahres in den Goldwäschen von Wosneessensk, Gebiet Jakutsk, —9*). Der

*) Die Temperaturen sind hier, wie überhaupt, in Celsius-Graden ausgedrückt.

Ort ist in den Olekmina-Witimschen Gebirgen gelegen, 920 m hoch, unter 59° N. Br. Gletscher fehlen im ganzen Gebirge. Ebenso fehlen Gletscher in Werchojansk, Gebiet Jakutsk, unter $67\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br. und im benachbarten Werchojanskischen Gebirge, obgleich die Mitteltemperatur des Jahres $-15,6$, des Januar $-48,6^{\circ}$) beträgt. Diese Thatsachen werden dadurch erklärt, dass in Ostsibirien überhaupt, wenige Gegenden ausgenommen, im Winter nicht viel Schnee fällt, und dieser teilweise bei der Trockenheit der Luft im Frühlinge rasch schmilzt. Die ausserordentlich niedrigen Minima im Winter sind von klarem Himmel und Windstille begleitet, Verhältnissen, welche einer grossen Anhäufung von Schnee, auf welche es bei Gletschern besonders ankommt, keineswegs günstig sind.

Um die Orientierung zu erleichtern, gebe ich weiter eine Tabelle über die Höhe des tiefsten Endes der Gletscher in verschiedenen Gebieten unserer Erde, und der wahrscheinlichen mittleren Temperatur des Jahres in diesen Höhen. Ich habe die tiefsten bekannten Gletscher der Gebirge gewählt, weil über diese mehr bekannt ist, während Mittelzahlen sich nur für genauer durchforschte Berge geben liessen.

Da es unmöglich war, überall vollständig sichere Werte für die Lufttemperatur an den Gletscherenden zu erlangen, so begnüge ich mich mit folgender einfacher Formel

$$t = t' - M \times A$$

wo t die gesuchte Mitteltemperatur, t' diejenige einer benachbarten beständigen Station, M der Unterschied der Höhen, in Hunderten von Metern ausgedrückt, A die Abnahme der Temperatur mit der Höhe, in Graden Celsius auf 100m ausgedrückt.

Ich will den Einfluss der topographischen Bedingungen keineswegs leugnen, jedoch in ausgedehnten, hohen Gebirgen finden sich wohl überall den Gletschern günstige topographische Bedingungen. Folgendes mag noch zur Erläuterung der Tabelle dienen:

1) Nowaja Zemlä, Westküste, unter $73\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br.

Die Gletscher reichen bis zur Meeresküste, von Matotschkin Schar an. Ich habe eine Temperatur von $-7,9$ angenommen, als Mittel der Beobachtungen in Matotschkin Schar und der seichten Bai**).

*) Dem wenig bekannten Werke von Maak „Wiluiski Okrug“ Irkutsk 1877, entnommen.

***) Bull. Phys. Mat. Acad. St. Petersb. II u. VII.

2) Westliches Norwegen, Jostedal, $61\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br.

Die Gletscher reichen bis 400m. In Aalesund, am Meere, unter $62\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Mitteltemperatur 6,6. Da diese Stadt unter dem erwärmenden Einflusse der Luftströmungen vom Golfstrom steht, so nehme ich an, die Temperatur nimmt nur um 0,2 für 1° nach Süden zu. Die Abnahme mit der Höhe nehme ich zu 0,5 C. für 100m an, wie aus den Beobachtungen in den meisten Gegenden Europa's hervorgeht. Also erhalte ich

$$t' = 6,8; M = 4; A = 0,5$$

und als wahrscheinliche Mitteltemperatur am unteren Ende der Gletscher

$$t = 6,8 - 4 \times 0,5 = 4,3.$$

3) Ostsibirien, Berg Munko-Sardyk. 52° N. Br.

Am Südabhange reicht ein Gletscher bis 3170m nach Kropotkin*). Da derselbe aber die Höhe seiner Basis, Irkutsk, um 70m niedriger annimmt, als durch das sibirische Nivellement bestimmt ist, so reicht der Gletscher nur bis 3240m. In Irkutsk, in 461m Höhe, ist die mittlere Temperatur des Jahres $-0,5$. Da in Ostsibirien die Thäler und Plateaus ganz besonders stark erkalten, so nehme ich eine viel langsamere Abnahme der Temperatur mit der Höhe an, als in anderen Gegenden, nämlich nur $A = 0,35$. Also erhalte ich

$$t = -0,5 - 27,8 \times 0,35 = -10,2.$$

4) West-Sibirien, Altaï. 50° N. Br.

Der Katungletscher geht auf 1240m herab. Die nächste meteorologische Station Semipalatinsk, unter $50\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br. und 182m hoch, hat im Mittel des Jahres 2,3. Eine Korrektion von 0.2 für die Breite annehmend, erhalte ich $t' = 2,5$. Die Abnahme der Temperatur mit der Höhe ist auch hier wohl viel langsamer als in Europa, ich nehme also $A = 0,40$ an. Ich erhalte

$$t = 2,5 - 10,6 \times 0,4 = -1,7.$$

5) Tyrol, Zillerthaler Alpen. 47° N. Br.

Ein Gletscher steigt bis 1740m herab. In Vent in Nordtyrol, Höhe 1845m, ist die mittlere Temperatur des Jahres 1.0. Daher ist für eine Höhe von 1740m 1,5 anzunehmen.

6) Tyrol, mittlere Ortlergruppe. $46\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br.

Der Gletscher an der Gefrorenen Wand steigt auf 1850m herab. Die mittlere Temperatur in Sils im Engadin, 1810m, ist 1,6, in Sulden in Tyrol, 1843m, 1,4. Daher nehme ich für das untere Ende des Gletschers 1,4 an.

*) Sapiski der allgemeinen Geographie der Russ. Geogr. Ges. Bd. 3.

7) Schweiz, Berner Alpen. $46\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br.

Der Grindelwald-Gletscher geht auf 983m herab. Mitteltemperatur in Bern, 574m hoch, 8,1. A nehme ich an zu 0,55 als Mittel der Wärmeabnahme mit der Höhe in der Schweiz nach den gediegenen Arbeiten von Hirsch und Weilenmann, daher habe ich

$$t = 8,1 - 4,09 \times 0,55 = 5,8.$$

8) Savoyen, Montblanc-Gruppe. 46° N. Br.

Der Glacier des Bossons hat sein unteres Ende in 1099m. Mittlere Temperatur in Genf, Höhe 408m. 9,7. A habe ich auch zu 0,55 angenommen, also

$$t = 3,7 - 6,91 \times 0,55 = 5,9.$$

9) Swanetien, oberer Ingur. 43° N. Br.

Der Tetnuld-Gletscher geht auf 1954m herab*). Die Mitteltemperatur in Kutaïs in 147m Höhe ist 13,8. Eine Korrektion von 0,5 für die Breite annehmend, erhalte ich $t' = 13,3$. A habe ich zu 0,5 angenommen, also

$$t = 13,3 - 18,1 \times 0,5 = 4,3.$$

10) Daghestan, Gruppe des Schah-Dagh. 41° N. Br.

Am Nordabhange steigt ein Gletscher auf 3163m herab. Am Kaspisee haben Baku 14,2, Derbent 13,1 Mitteltemperatur. Diese Städte liegen fast gleich weit nördlich und südlich vom Schah-Dagh, also nehme ich $t' = 13,65$ an und A wie früher zu 0,5. Also:

$$t = 13,65 - 32 \times 0,5 = -2,4.$$

11) Centralasien, Alaï-Gebirge. $39\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br.

Das untere Ende des Sarafschan- und des Dori-Rama-Gletschers reicht auf etwa 2700m. In Taschkent in 455m Höhe, ist die Mitteltemperatur 13,0. Da diese Stadt $1\frac{3}{4}^{\circ}$ nördlicher liegt, als die Gletscher, und letztere noch im Norden durch hohe Gebirge geschützt sind, so nehme ich eine Breitenkorrektion von 1,2 an und $t' = 14,2$. Also

$$t = 14,2 - 22,4 \times 0,5 = 3,0.$$

12) Westliches Tibet (Ladakh). $35\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br.

Der Biafo-Gletscher geht auf 3012m herab. Die nächste meteorologische Station Leh in 3558m Höhe und 34° N. Br. hat eine Mitteltemperatur von 6,1. Da jedoch das Thermometer in Leh nicht vor Rückstrahlung geschützt war, und dies bei der trocknen Luft und dem klaren Himmel einen grossen Einfluss haben mag, so nehme ich 5,1 an. Diese Zahl ist wegen des

*) Statkowski, Problèmes de la climatologie du Caucase.

Breitenunterschiedes noch um 1,0 zu verringern, und ich erhalte $t' = 4,1$. M ist hier zu addieren, weil Leh höher liegt als der Gletscher. A nehme ich auch zu 0,5 an, da dies mit den Verhältnissen der Alpen wie des indischen Himalaya stimmt. Also

$$t = 4,1 + 5,46 \times 0,5 = 6,8.$$

13) Mexico, Orizaba. 19° N. Br.

Ein kleiner Gletscher steigt hier auf 4015 m herab. In der Stadt Cordoba, am Fusse des Orizaba, Höhe 855 m, ist die Mitteltemperatur 20,5. Indem ich wieder $A = 0,5$ annehme erhalte ich

$$t = 20,8 - 31,4 \times 0,5 = 5,1.$$

14) Neuseeland, Südinself. $43\frac{1}{2}^{\circ}$ S. Br.

Unter diesen Breiten finden wir die höchsten Berge der Insel, schneebedeckt und nach beiden Seiten mächtige Gletscher entsendend. Am Ostabhange geht der Tasman-Gletscher am niedrigsten herab, bis 835 m. In Christchurch, am Meere unter $42\frac{1}{2}^{\circ}$ S. Br., ist die Mitteltemperatur 11,6. Eine Breitenkorrektion von 0,4 für 1° annehmend, was überhaupt für Neuseeland gilt, erhalte ich $t' = 11,2$; A wieder zu 0,5 annehmend, erhalte ich

$$t = 11,2 - 8,35 \times 0,5 = 7,0.$$

Am Westabhange geht der Franz-Joseph-Gletscher auf 212 m herab. In Hokitika an der Westküste, unter $42\frac{3}{4}^{\circ}$ S. Br. ist die Mitteltemperatur 11,3. Die Breitenkorrektion wie oben annehmend, erhalte ich t' unter $43\frac{1}{2}^{\circ}$ S. Br. = 11,0 und A wie oben wieder 0,5, also

$$t = 11,0 - 2,0 \times 0,5 = 10,0.$$

15) Westküste von Patagonien. $46\frac{1}{2}^{\circ}$ S. Br.

In der Laguna S. Rafael steigt ein Gletscher zum Niveau des Meeres herab. In der Nähe fehlen Beobachtungen, aber in Ancud, Insel Chiloë $41\frac{3}{4}^{\circ}$ S. Br., ist die Mitteltemperatur 10,0, in Punta Arenas (Magelhanstrasse) 6,1; darum erhalte ich für die Laguna S. Rafael 8,4. Ich will nur bemerken, um nicht missverstanden zu werden, dass die nun folgenden Temperaturen am unteren Ende der Gletscher solche sind, welche sich wahrscheinlich in einiger Entfernung von demselben in gleicher Höhe finden. Natürlich wird der Luft am Gletscher selbst, sobald die Temperatur über 0 steigt, durch die Strahlung der Eismasse und noch mehr durch deren Schmelzung eine niedrigere Temperatur mitgeteilt, als derjenigen in einiger Entfernung, und zwar um so mehr, je wärmer die Luft ist.

Die folgende Tabelle zeigt alle diese Verhältnisse in übersichtlicher Weise.

Höhe über dem Meeresniveau und wahrscheinliche Jahrestemperatur der unteren Gletscherenden in verschiedenen Gebirgen.

Land oder Gegend.	Gebirge und Abhang.	Breite.	Höhe in Metern.	Mittlere Temperatur des Jahres.
1. Nowaja Zemlä . . .	Westl. Abhang	73½° N.	0	— 7.9
2. Westl. Norwegen .	Jostedal-Gruppe, W.-Abhang	61½° N.	400	4.8
3. Ostsibirien, Gouv. Irkutsk	Östlicher Sajan, Munko-Sardyk, S.-Abhang	52° N.	3240	—10.2
4. Westsibirien	Altai	50° N.	1240	—1.7
5. Tyrol	Zillertaler Alpen	47° N.	1740	1.5
6. Tyrol	Ortler Alpen	46½° N.	1850	1.4
7. Schweiz	Berner Alpen, N.-Abhang	46½° N.	933	5.8
8. Savoyen	Montblanc-Gruppe, N.-Abhang	46° N.	1099	5.9
9. Swanetien, Gouv. Kutais	Kaukasus-Gebirge, SW.-Abhang	43° N.	1954	4.3
10. Daghestan	Kaukasus, Gruppe Schab-Dagh, N.-Abhang	41° N.	3163	—2.4
11. Centralasien	Alai-Gebirge, SW.-Abhang	39½° N.	2700	+3.0
12. Westl. Tibet(Ladakh)	Karakorum, SW.-Abhang	35½° N.	3012	6.8
13. Mexico	Orizaba	19° N.	4015	5.1
14. Neuseeland,Südinsel	{ Westabhang	43½° S.	212	10.0
	{ Ostabhang	43½° S.	835	7.0
15. Patagonien	Anden, W.-Abhang	46½° S.	0	8.4

Aus der obigen Tabelle ist ersichtlich, dass die wahrscheinliche Temperatur an den unteren Enden der Gletscher mehr als um 20° verschieden ist (— 10,2 am Munko-Sardyk in Ostsibirien und 10,0 im westlichen Neuseeland). Aber es ist schon früher erwähnt, dass es in Ostsibirien gebirgige Gegenden mit mittlerer Jahrestemperatur von — 15 bis — 16 giebt, woder Winter der kälteste auf unserer Erde ist (Januar — 48,6) und doch der Schnee im Sommer vollständig schmilzt und keine Gletscher existieren, während in Neuseeland mächtige Gletscher bis in so warme Luftschichten herabreichen, dass in unmittelbarer Nähe Baumfarn, Fuchsien und andere Gewächse warmer Klimate gedeihen.

Schon viel näher zu uns finden wir im westlichen Norwegen die unteren Gletscherenden in einer mittleren Jahres-Temperatur von 4,8, welche im europäischen Russland den Gegenden von Orel und Tambow entspricht, d. h. der Kornkammer des Reiches.

Aber im westlichen Norwegen fällt schon am Meere überall über 1000 Millimeter Wasser im Jahre, an den Berggehängen wahrscheinlich viel mehr, und zwar hauptsächlich im Winter, wenn

von 1500 Meter an schon der Schnee vorwaltet. Daher sammeln sich denn auch in den hohen Bergmulden enorme Schneemassen, welche grosse Gletscher bis in warme Lagen schicken.

In den Alpen ist ein grosser Unterschied zwischen den Berner Alpen und dem Montblanc einerseits und in den Tyroler Alpen andererseits zu bemerken. Die Mitteltemperatur am unteren Ende der Gletscher in Tyrol ist um 4° niedriger. Schon Dove bemerkte, dass in den Schweizer Alpen hauptsächlich die Gletscher vorwaltet, während in Tyrol und dem Salzkammergute bedeutendere Wasserfälle wären, und erklärte diese durch die verschiedenen Perioden der Niederschläge; in den Schweizer Alpen wären diejenigen der kalten Jahreszeit ergiebiger, es sammelte sich also viel Schnee, in Tyrol und dem Salzkammergute aber walteten die sommerlichen Niederschläge vor. Die zahlreichen Beobachtungen der letzteren Jahre haben diesen Ausspruch des Altmeisters bestätigt.

Im kaukasischen Gebirge ist namentlich der Unterschied zu bemerken zwischen dem Südwesten (Mingrelien, Imeretien, Swanetien), wo die Niederschläge überhaupt sehr ergiebig sind, daher sich in den Bergen grosse Schneemassen sammeln und einige Gletscher tief herabreichen, und Daghestan, wo die Niederschläge weniger ergiebig sind, namentlich im Winter, wo die hohen Bergketten im NW. und SW. die niedrig ziehenden Wolken abhalten. Im Sommer sind die Niederschläge ergiebiger. Diese Verhältnisse erklären, warum die Schneelinie in Daghestan so hoch und die Gletscher so selten sind und so wenig tief herabreichen.

In Centralasien reicht der berühmte Sarafschan-Gletscher ziemlich tief herab, denn in den Bergen fällt viel Schnee und ausserdem sind die topographischen Verhältnisse den Gletschern günstig.

Auch in den benachbarten niedrigen Theilen Centralasiens fallen die Niederschläge meistens im Winter, und dann verdichten sich an den Westgehängen des Alaï und der Pamirgebirge die Dämpfe, welche dem Mittelländischen, Schwarzen und Kaspischen Meere entstammen. Nur der heisse Sommer und die trockene Luft Centralasiens verhindern die Gletscher noch tiefer herabzusteigen.

Am Karakorum steigen Gletscher in noch tiefere Zonen herab; auch hier fallen die Niederschläge meistens in der kalten Jahreszeit, also in der Form von Schnee, und die Höhe des Gebirges ist ein weiteres günstiges Moment. Viel bedeutender sind die Gletscher der südlichen Hemisphäre. Schon unter dem $46\frac{1}{2}^{\circ}$ S. Br. reichen sie im westlichen Patagonien ans Meer. Im südlichen Chile zwischen dem 39° — 42° S. Br. fallen am Meere von 2000 bis 2600 mm Wasser, und zwar hauptsächlich in der kälteren Jahreszeit, also in den höheren Regionen als Schnee. Weiter südlich fehlen

uns Beobachtungen, aber Reisende, so J. A. King und Fitzroy, welche diese Gegend besucht haben, halten sie für eine der regen- und schneereichsten der Erde.

Ebenso bemerkenswerth und besser bekannt sind die Gletscher Neuseelands. Wie oben erwähnt, reichen Gletscher an dem Ostabhange bis 835 m (mittlere Jahrestemperatur 7,0) und am Westabhange sogar bis 212 m (mittlere Jahrestemperatur 10,0). Wir wissen denn auch, dass in Hokitika an der Westküste 2800 mm Wasser fallen, dass dies also eine der niederschlagsreichsten Gegenden der Erde ist, an der Ostküste aber nur $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ dieser Menge. Man könnte erwarten, dass die Gletscher am Ostabhange viel weniger tief herabreichten, aber man muss bedenken, dass die Firne im höheren Teile der Gebirge die Gletscher beider Abhänge speisen, und dass am Ostabhange die topographischen Verhältnisse denselben besonders günstig sind.

Also reichen jetzt Gletscher in der Breite von Nizza und Florenz bis an 212 Meter über das Meeresniveau, und die mittlere Jahrestemperatur in der Höhe der unteren Enden dieser Gletscher ist gleich derjenigen von Wien, Stuttgart und Brüssel und bedeutend wärmer als in Genf, Odessa und Astrachan, während der Winter dort wärmer ist als in Florenz und im ganzen Transkaukasien.

Völlig sichere Spuren früherer Gletscher in diesen Breiten in Europa und Asien finden sich nicht in so tiefen Lagen. So z. B. fand Desor am Varflusse in Südfrankreich unter $43\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Br. Moränen in einer Höhe von 520 m, nicht niedriger. In der Lombardei erfüllten freilich Gletscher die Becken der jetzigen Seen, aber die Südhemisphäre hat auch jetzt Gletscher im Meeresniveau in einer nur 1° höheren Breite.

In Centralasien gehen alle sicher bekannten Spuren früherer Eiszeiten bei Weiten nicht so tief herab, wie jetzt auf der Südhemisphäre unter denselben Breiten, und in Ostsibirien findet man Spuren früherer Gletscher in Gegenden, wo die mittlere Jahrestemperatur jetzt — 8 und darunter ist. Da also in der jetzigen Zeit sich auf der südlichen Hemisphäre Gletscher finden in ebenso niederen Breiten und kleinen Höhen über dem Meeresniveau wie zur Zeit der grössten Verbreitung der Gletscher in der nördlichen Hemisphäre (wenige Ausnahmen abgerechnet), so ist eine eingehende Betrachtung der jetzigen klimatischen Verhältnisse der südlichen Hemisphäre von der grössten Wichtigkeit, um die Ursachen der früheren Vergletscherung auf der nördlichen zu erforschen. Jedoch ist es nötig erst etwas weiter auszuholen.

II.

Schnee und Eis haben einen grossen Einfluss auf die Temperatur der umringenden Luft, und je mächtiger und ausgedehnter die Schnee- und Eisschichten, desto grösser und weitverbreiteter wird ihr Einfluss sein. Der Schnee ist durch seine federige Struktur vom Eise verschieden und ist daher ein schlechter Wärmeleiter. Ausserdem strahlt die rauhe Oberfläche des Schnees mehr Wärme aus, als die glatte Oberfläche des Eises und reflectirt auch mehr die Sonnenwärme, während das Eis bei seiner Durchsichtigkeit leicht durchstrahlt wird. In ihren sonstigen Eigenschaften stimmen Schnee und Eis überein, als Wasser in fester Form.

Die Sonnenstrahlen werden von der Oberfläche des Schnees leicht reflectiert und daher übt die directe Sonnenwärme nur einen unbedeutenden Einfluss auf die Schmelzung von Schnee und Eis, des letzteren deshalb, weil es gewöhnlich von Schnee bedeckt ist. Die Schmelzung wird eher durch die Lufttemperatur bewirkt, sobald dieselbe über 0 steigt.

Besonders wichtig aber sind die Reaktionen, welche bei dem Gefrieren von Wasser und dem Schmelzen von Eis und Schnee vorgehen. In ersterem Falle wird Arbeit in Wärme verwandelt, oder, wie man sich früher ausdrückte: wird Wärme frei, in letzterem verwandelt sich Wärme in Arbeit oder wird gebunden, und zwar $79\frac{1}{4}$ Kalorien, d. h. die Wärme, welche nötig ist, um ein Kilogramm Eis bei 0° in Wasser zu verwandeln, würde genügen, um die Temperatur eines Kilogramm Wassers um $79\frac{1}{4}^{\circ}$ zu steigern oder um $79\frac{1}{4}^{\circ}$ Kilogramm Wasser von 0° auf 1° zu bringen.

Solange Schnee und Eis vorhanden sind, wird die Wärme auf die Schmelzung von Schnee und Eis verwandt, wobei deren Temperatur nicht über 0° steigt und eine wenig verschiedene auch der angrenzenden Luft mitgeteilt wird.

Auch die Verdunstung von Schnee und Eis nimmt viel Wärme in Anspruch. Die Verdunstung von Wasser bei 0° erfordert 606,5 Kalorien, und in dem Falle von Schnee und Eis sind noch 79,25 Kalorien zuzusetzen. Jedoch praktisch für die Temperatur der Luft ist diese Verdunstung weniger wichtig, so lange Schnee und Eis liegen, da bei Temperaturen von 0° und darunter die Luft nur wenig Wasserdampf aufnehmen kann.

Wichtig ist diese Verdunstung in der Hinsicht, dass, solange Windstille oder schwache Winde vorwalten, über einer Lage von Schnee oder Eis die Luft nahezu mit Wasserdampf gesättigt ist, also Niederschläge, in diesem Falle Schnee, leicht entstehen.

Die rauhe Oberfläche des Schnees erkaltet stark in klaren Nächten, namentlich bei Windstille, und ihre niedrige Temperatur wird der umgebenden Luft allmählich durch Strahlung und Leitung mitgeteilt. Ausserdem bewirkt die Eigenschaft des Schnees als schlechter Wärmeleiter, dass leicht ein grosser Unterschied entstehen kann zwischen der Temperatur der Oberfläche des Bodens und derjenigen der Oberfläche des Schnees. Letztere ist nicht selten um 30° und mehr kälter als erstere.

Von der grössten Wichtigkeit für die Temperatur der Ozeane und der Luft unseres Planeten sind die Verhältnisse des Gefrierens und Aufthauens von Wasser, gerade weil durch die Verwandlung von Arbeit in Wärme in ersterem Falle und von Wärme in Arbeit im zweiten die Temperaturen so lange auf und um 0° sich halten.

Auch die Verhältnisse dieser Wärmereaktionen in Raum und Zeit sind von grosser Bedeutung. Einige Beispiele mögen diess zeigen.

Wenn bei uns im Winter Teiche oder kleine Flüsse gefrieren, so wird durch die Verwandlung von Arbeit in Wärme eine erwärmende Wirkung auf die Umgegend ausgeübt. Wenn das Eis im Frühling schmilzt, wird ebenso viel Wärme in Arbeit verwandelt, d. h. eine erkaltende Wirkung ausgeübt. Da jedoch beides auf demselben Orte geschieht, so ist hier nur eine Wirkung in der Zeit ausgeübt, beide Reaktionen geschehen an demselben Platze, und soweit die Temperatur des ganzen Jahres in Betracht kommt, gleichen sich beide Wirkungen aus.

Schon anders geht es bei einem Schneefall zu. Der Schnee bildet sich in einer gewissen Höhe und die erwärmende Wirkung der Verwandlung der Wasserdämpfe in die feste Form kommt den Luftschichten in dieser Höhe zu Gute, der Schnee fällt dann auf die Oberfläche der Erde und schmilzt nachher. Die Erkaltung bei dem Schmelzen geschieht dann an einem anderen Ort, als die Erwärmung bei der Bildung der Schneekristalle. Es ist hier also eine Änderung nicht nur in der Zeit, sondern auch im Raume. Es wird dadurch also Luftschichten, in denen die Bildung des Schnees vorgeht, eine höhere, den unteren, in denen die Schmelzung desselben geschieht, eine niedrigere Temperatur mitgeteilt. Bei dem Gefrieren der Meere und dem Thauen ihres Eises findet oft eine viel grössere räumliche Sonderung dieser beiden Reaktionen statt, denn Winde und Strömungen tragen das Eis oft weit von seinem Entstehungsorte weg, meistens in niedrigere Breiten, und die Abkühlung durch das Schmelzen findet also dort statt, während die Erwärmung durch Eisbildung in viel höheren Breiten geschah.

Gletscher, welche nicht ans Meer reichen, bieten wiederum das Beispiel einer räumlichen, hauptsächlich vertikalen Sonderung beider Reaktionen. Ist die Firnmasse in den höheren Bergmulden gross, so werden Gletscher bis in warme Luftregionen entsendet, oft bis in solche, wo selbst im Winter der Schneefall selten ist, durch die Gletscher aber entsteht eine bedeutende Abkühlung durch Schmelzen des Eises das ganze Jahr, besonders im Sommer. Das beste Beispiel ist der Franz-Joseph-Gletscher in Neuseeland, der bis zu einer Luftschicht reicht, deren mittlere Temperatur im Jahre 10,0, im kältesten Monate noch 6,0 beträgt.

Jedoch das grossartigste Beispiel einer Sonderung dieser beiden Reaktionen in Raum und Zeit bieten uns grosse, tief vereiste Kontinente und Inseln, deren Gletscher bis ans Meer reichen. Am meisten ist diess der Fall in Grönland in der nördlichen und im Südpolarkontinente in der südlichen Halbkugel.

Hier tritt schon eine grosse räumliche Verschiebung des Eises von der Mitte zu den Rändern der Kontinente und Inseln auf; die Enden der Gletscher werden abgebrochen und schwimmen als Eisberge wärmeren Meeresteilen zu, wegen ihrer Masse sich länger haltend und daher energischer sich abkühlend, als das dünnere Meer-eis. Im südatlantischen Oceane erreichen solche Eisberge zuweilen den 35° S. Br. Wenn wir nur eine Breite von 40° S. annehmen, welche vom Eise öfter erreicht wird, so hat es 29 Breitengrade auf dem Oceane geschwommen (den 69° S. Br. als den Nordrand des Polarkontinentes angenommen), aber jedenfalls stammt es teilweise noch weiter her, von dem Inneren des Kontinentes jenseits des 80° S. Br.

Bei der (angenommenen) Grösse des Südkontinents, bei den enorm hohen Eisbergen, welche von ihm abgebrochen werden, ist es keineswegs übertrieben, anzunehmen, die Oberfläche des Eises in 80° S. Br. sei 3500 m hoch. Ist der Schnee, welcher die Gletscher bildet, nur 500 m über denselben entstanden, so ist dies schon 4000 m über dem Meeresniveau. In diesem Falle ist die Erwärmung, welche die Bildung des Schnees begleitet, in 80° S. Br. und 4000 m hoch, die Abkühlung bei dem Schmelzen aber in 40° S. Br. und auf dem Meere. So gross ist also der Unterschied im Raume. Aber auch der Zeitunterschied zwischen Bildung von Schnee und Schmelzung des Eises ist gross, wenn es sich um vergletscherte Kontinente und grosse Inseln handelt. Schon für den Torsukatak-Fjord in Grönland ist von Helland berechnet worden, dass das Eis 81 Jahre gebraucht, um vom innersten Teile desselben an das Meer zu gelangen. Wie viel grösser muss die Zeit für den Südpolarkontinent sein? Jedenfalls über 300 Jahre.

Das Schmelzen der Eisberge hat einen sehr grossen Einfluss auf die Temperatur der Océane, namentlich in der südlichen Hemisphäre. Freilich nur ein kleiner Teil des Eises erreicht so niedrige Breiten, wie 35° oder sogar 40° , der grössere Teil schmilzt zwischen 45° — 60° S. Aber der Schmelzprozess kühlt die Gewässer sehr ab, und Winde und Strömungen bringen dieses kalte Wasser in viel niedrigere Breiten, so dass in indirekter Weise das Schmelzen des Eises dies Gewässer bis zum Äquator abkühlt, und durch die Gewässer auch die Luft. So hat Arica, an der Küste von Peru unter $18\frac{1}{2}^{\circ}$ S. Br. eine mittlere Jahrestemperatur von 19,0, wegen der Nähe der kalten Humboldt-Strömung. An der Küste von Brasilien, wo keine kalte Meeresströmung streicht, finden wir eine gleiche Temperatur unter $29\frac{1}{2}^{\circ}$ S. Noch unter dem 1° S. bei den Galápagos ist die Temperatur an der Oberfläche des Meeres 21,0, an der peruanischen Küste zwischen 10° — 12° S. aber 16,0 und darunter. Auch im süd-atlantischen Océane verläuft eine sehr kalte Strömung. Die indirekte Wirkung der Schmelzung der grossen Mengen Eis aus den höheren Breiten der südlichen Hemisphäre erklärt, warum das Wasser der Océane in den südlichen Tropen kälter ist, als in den nördlichen.

Zu der Zeit, als bedeutende Teile von Europa und Nordamerika mit Eisschichten wie die jetzigen in Grönland bedeckt waren, mussten die von ihnen stammenden Eisberge die Gewässer des tropischen Nordatlantischen Océans sehr stark abkühlen.

Es ist wohl angemessen einige Beispiele resp. Rechenexempel zu geben, um die erwähnten Verhältnisse besser zu erklären. In Central-Russland z. B. sammelt sich während des Winters eine Lage Schnee gleich etwa 8 bis 10 cm Wasser, also auf eine Quadratmeter-Fläche fallen 0,08 bis 0,1 \square m Wasser in fester Form. Um zu verschwinden, muss diese Quantität Schnee ihren Aggregatzustand ändern, d. h. entweder thauen oder verdunsten. Bei dem Thauen wird Wärme in der Menge von $79\frac{1}{4}$ Kalorien in Anspruch genommen, bei der Verdunstung von Schnee aber $79\frac{1}{4} + 606\frac{1}{2} = 685\frac{3}{4}$. Nehmen wir an, dass $\frac{1}{20}$ des gefallenen Schnees verdunstet und $\frac{19}{20}$ schmelzen, so werden von einem Kilogramm Wasser als Schnee in Anspruch genommen: zur Verdunstung 34,3 Kalorien, zur Schmelzung 75,3 Kalorien, im Ganzen also 109,6, soviel wie nötig ist, um 109,6 kg Wasser von 1° auf 0° abzukühlen. Da der Schnee aber in der Luft verdunstet und thaut, so wird die zu der Änderung des Aggregatzustandes nötige Wärme von der Luft absorbiert.

Da Luft aber 773,28 leichter ist als Wasser, und eine 4,2

Mal geringere spezifische Wärme besitzt, so folgt, dass 3248 Raumeinheiten Luft ebenso abgekühlt werden, wie eine Einheit Wasser. Haben wir also, wie oben, auf einem Quadratmeter eine Lage von Wasser in fester Form, welche 0,1m Wasser giebt, und wovon $0\frac{1}{20}$ verdunstet, der Rest schmilzt, so werden durch diese Prozesse 35599 \square m Luft um 1° abgekühlt, also = einer Luftsäule von 35,6km über einem Quadratmeter. Da Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, so kann natürlich nicht die Rede sein von der Abkühlung einer entfernt so hohen Luftsäule; es werden durch die Verdunstung und das Thauen des Schnees die unteren Luftschichten viel stärker abgekühlt. In der Wirklichkeit sind zum Thauen der nicht übergrossen Schneemassen Central-Russlands mehrere Wochen nötig, wobei warme feuchte Winde, also Zufuhr von grossen Luftmassen aus wärmeren Gebieten und namentlich warme Regen besonders wirksam sind. Um zum oben betrachteten Fall zurückzukommen: denken wir uns über der Schneelage eine Luftschicht von 100m Höhe und 100° C., so würde nur $\frac{2}{3}$ der Schneelage schmelzen und dabei auf 0° erkalten.

Diese Verhältnisse im Auge behaltend, ist es ganz verständlich, warum in Central-Russland eine Verzögerung der Wärmezunahme vom März zum April stattfindet (letzterer ist gerade der Monat der Schneeschmelze), hingegen wieder ein rascheres Aufsteigen im Mai, wenn die Schneeschmelze beendet ist.

Auf die Verhältnisse von Gletschern angewandt, finden wir folgendes.

Bei Gletschern, welche mit ihren Enden nicht ans Meer oder an einen See reichen, findet am unteren Ende eine Schmelzung in der Luft statt, die umgebenden Luftschichten müssen also um soviel Kalorien erkalten, wie zur Schmelzung des Eises nötig ist. Wenn sich ein solcher Gletscher nicht vergrössert, resp. wenn sein unteres Ende nicht weiter und tiefer reicht, als früher, so können wir schliessen, dass ebensoviele Eis abschmilzt und verdunstet als aus dem Firn zugeführt wird. Helland hat berechnet, dass einer der weniger bedeutenden Gletscher Grönlands, der Torsukatak, an einem Sommertag 6 300 000k³m Eis liefert und im Jahre etwa 1150 bis 2600 Millionen Kubikmeter. Im Himalaya, in Patagonien und Neuseeland existieren noch jetzt bedeutendere Gletscher, deren unteres Ende nicht ans Meer reicht, und während der Eiszeiten waren auch viel grössere in Europa und im östlichen Nordamerika.

*) Quarterly Journ. Geol. Soc. vol. XXXIII, p. 142.

Angenommen also, dass ein Gletscher von der Grösse des Torsukatak ganz in der Luft schmilzt und gar nicht verdunstet, so wird er in einem Sommertage so viel Wärme gebrauchen, dass dadurch*) 138 084 Millionen Kubikmeter Luft auf 1° erkalten werden, oder 13 808 Millionen Kubikmeter auf 10°. Die Wärmemenge, welche der Luft entnommen wird, um die jährlich vordringende Eismasse zu schmelzen, würde 26 301 700 Millionen Kubikmeter Luft auf 1° erkalten oder 2 630 172 Millionen auf 10°. Bedenkt man, wie gross und wie häufig erneuert die Luftmassen sein müssen, um eine solche Wärmemenge zur Eisschmelze zu liefern, so ist es schwerer zu erklären, wie die Eisschmelze so gewaltigen, jährlich zukommenden Massen die Wage halten kann, als dass grosse Gletscher bis in so warme Luftschichten reichen können, wie in den Westalpen, dem Karakorum, und namentlich in Patagonien und Neuseeland. Denken wir uns am Äquator, geschützt vor den direkten Sonnenstrahlen und dem Regen, aber andererseits Wärme verbrauchend nur zum Schmelzen, nicht zum Verdunsten des Eises, eine Eisschicht von 1 km Breite und Höhe, und ferner dass die Luft nur zu einer Seite der Eismasse beikommen kann, und sich mit einer mittleren Geschwindigkeit von 10 km per Stunde bewegt, so werden also am Tage 240 kbkm Luft über die Eismasse weggehen. Hat diese Luft am Anfange 26° C. und am Ende 21° C., so giebt sie zur Schmelzung des Eises 5° ab, also eine Menge, welche genügen würde, 1200 kbkm Luft auf 1° abzukühlen. Die Schmelzung des Eises, welches an einem Sommertage den Torsukatak-Gletscher passiert, ist genügend um 138 kbkm Luft auf 1° abzukühlen, also in dem oben betrachteten Beispiele würde die Wärme genügen, um eine fast 9 Mal grössere Eismasse per Tag zu schmelzen. Ich habe jedenfalls Verhältnisse angenommen, welche einer raschen Schmelze zu günstig sind, denn bei einer so schnellen Bewegung wie 10 km per Stunde wird die Luft nicht so bedeutend erkalten, wie um 5° im Mittel. Jedenfalls aber ist ersichtlich, dass auch unter dem Äquator Verhältnisse denkbar sind und wahrscheinlich existiert haben, welche Gletscher möglich machen.

III.

Die oben erwähnten thermischen Reaktionen bei dem Gefrieren des Wassers und dem Thauen von Eis und Schnee erklären manche scheinbare Anomalien in der Verteilung der Wärme auf der Erde.

*) Das spezifische Gewicht des Gletschereises zu 0,85 angenommen.

Wie bekannt berechnete Dove nach den Beobachtungen die Mitteltemperatur der Parallele von 10° zu 10° zwischen 40° S. bis 70° N. Br. und versuchte dann, indem er die Abnahme der Wärme nach Norden auf den verschiedenen Parallelen combinirte, die Temperatur der Parallele 80° und 90° N. Br. zu berechnen. Er erhielt für den Äquator 26,5, für den Nordpol — 16,7. Später erhielt Ferrel, auf einem zahlreicheren Materiale basierend*), resp. 26,7 und — 17,0.

Um zu sehen, welche Bedeutung diese Zahlen haben und wie sie sich zu der Erwärmung der verschiedenen Parallele durch die Sonne verhalten, müssten wir erst die Temperatur kennen, welche der Erdball annehmen würde, wenn er zwar eine Athmosphäre, wie die jetzige besässe, aber keine Wärme von der Sonne empfinde. Es wäre zu weitläufig alle Hypothesen über diese Temperatur zu erwähnen. Die neueste Arbeit der Art ist wohl die von Fröhlich**), welcher eine berusste Kugel annahm, damit dieser schlechte Wärmeleiter die Oberfläche vor dem Einflusse der Wärme des Inneren schützte. Die von ihm erhaltenen Temperaturen sind sehr verschiedene, die nach seiner Meinung besten Bestimmungen gaben — 34 und — 57. Die erste dieser Zahlen als Anfangstemperatur anzunehmen, ist entschieden unmöglich, denn in Kontinentalklimaten höherer Breiten sinkt die Temperatur oft monatelang darunter. Sogar — 57 scheint mir zu hoch zu sein, da in Ostsibirien schon gut beglaubigte Fälle von Temperaturen unter — 60 existieren***). Ich nehme daher — 65 an.

Ich muss bemerken, dass die von mir angenommene Anfangstemperatur eher zu hoch als zu niedrig ist. Wäre ich von einer niedrigeren ausgegangen, so würden die unten gegebenen Differenzen noch viel grösser ausgefallen sein. Gerade um nicht zu überreiben, habe ich die höchste Temperatur genommen, welche sich verteidigen lässt. Ich wollte mich eher dem Vorwurfe aussetzen, eine zu hohe Anfangstemperatur angenommen zu haben.

Es ist also die Jahrestemperatur am Äquator um 91,5, diejenige am Nordpol um 48,3 höher, als diejenige, welche ohne Sonnenwärme existieren würde. Diese Zahlen verhalten sich wie 530 : 1000, während die erhaltene Sonnenwärme sich wie 415 : 1000 verhält. Es ist also der Nordpol wärmer im Verhältnis zum Äquator, als er nach der erhaltenen Sonnenwärme sein sollte.

*) Meteorological researches. Washington 1877.

**) Repertorium für Meteorologie, Bd. VI.

***) Vergl. namentlich das interessante Werk von Maak „Wiljuiski Okrug“. Irkutsk 1877.

Ich gebe unten eine Tabelle für verschiedene Parallele der nördlichen Hemisphäre, wo die wirklich vorhandenen Temperaturen mit der von der Sonne erhaltenen Wärme verglichen sind. Die Temperatur des Jahres ist als Resultat der im ganzen Jahre erhaltenen Sonnenwärme betrachtet; die Temperatur des Januar als Resultat der in der Periode vom 29. November bis zum 13. Januar erhaltenen Wärme (d. h. von der Sonnendeklination $21^{\circ} 34' 48''$ durch die südliche Sonnenwende bis zu derselben Deklination); die Temperatur des Juli als Resultat der von der Sonne erhaltenen Wärme vom 29. Mai bis zum 15. Juli.

Die Columne a giebt die Mitteltemperatur der betreffenden Orte und Parallele in Celsius Graden.

Columne b giebt die in der betreffenden Zeit erhaltene Sonnenwärme, diejenige von dem Äquator erhaltene zu 1000 angenommen. Ich habe die Berechnungen von Wiener benutzt als detaillierter und in einer bequemerer Form gegeben, als die früheren. Es ist überall die volle Quantität genommen, ohne die Absorption durch die Atmosphäre zu berücksichtigen.

Columne c giebt die Temperatur, welche aus der Columne b resultiert, die Jahrestemperatur des Äquators (26,5 oder 91,5 von der Anfangstemperatur aus) wie sie jetzt existiert, als Resultat der vom Äquator erhaltenen Sonnenwärme betrachtet. Um ein Beispiel zu geben, nehmen wir an, ein gegebener Ort erhielte in der Zeit vom 29. November bis zum 13. Januar $\frac{4}{10}$ der von dem Äquator erhaltenen Sonnenwärme, so würde er in der Columne b mit der Zahl 400 stehen. Die resultierende Temperatur von -65 an ist also 36,6 oder $-28,4$ C.^o, welche Zahl dann in der Columne c steht.

Die letzte Columne giebt die Differenz a—c, d. h. der wirklich beobachteten und die von der Sonnenwärme allein resultierenden. Ist erstere höher, so sind die Zahlen in Cursivschrift gedruckt, wenn niedriger in fetten Lettern.

Ort	N. Br.	Januar			Diff. a-c	Juli			Diff. a-c	Jahr.			Diff. a-c
		a	b	c		a	b	c		a	b	c	
Mitteltemperatur des Parallels													
nach Dove	0°												
" Fernel	100	25.1	873	14.5	9.6	27.1	1027	29.0	1.9	26.5	1000	26.5	1.2
" "	200	21.7	728	0.7	20.0	29.0	1094	34.6	5.6	26.6	988	25.4	4.2
" "	300	12.9	567	-13.1	26.0	26.6	1133	38.7	12.1	19.8	945	20.5	4.8
" "	400	4.5	397	-28.7	33.2	22.8	1145	39.5	16.7	13.6	879	15.5	3.4
" "	500	-6.0	229	-44.1	38.1	18.6	1134	38.8	20.2	6.3	684	-2.4	8.7
" "	600	-16.9	74	-58.3	41.4	13.8	1115	37.0	28.2	-1.6	569	-12.9	11.3
" "	700	-26.5	0	-65.0	37.5	6.9	1135	38.9	32.0	-9.8	474	-21.6	11.8
nach Dove	900	(-32.5)	0	-65.0	32.5	(-0.7)	1206	45.3	46.0	(-16.5)	415	-27.0	10.5
Manilla, Philippinen	14½°	24.1	798	8.0	16.1	26.9	1058	31.8	4.9	26.1	967	23.2	2.9
Massaua, Rotes Meer	15½°	25.5	781	6.5	19.0	34.6	1064	32.2	2.4	31.4	961	22.9	8.5
Multan, Nördl. Indien	30½°	11.1	567	-13.1	24.1	33.7	1133	38.7	5.0	24.2	879	15.4	9.6
Funchal, Madeira	32½°	15.9	520	-18.3	34.2	21.9	1136	38.9	17.0	18.3	838	11.7	7.1
Insel Bermuda	32½°	16.6	520	-18.3	34.9	26.2	1136	38.9	12.7	20.9	838	11.7	9.2
S. Francisco, Californien	41½°	9.6	439	-24.8	34.4	13.8	1142	39.5	25.7	12.4	806	8.8	3.6
Petro-Alexandrowsk, Centralasien	47½°	-5.3	357	-32.3	26.9	28.6	1144	39.7	11.1	12.6	763	4.8	7.8
S. John, Newfoundland	50°	-4.3	269	-40.4	36.1	13.4	1136	38.9	25.5	3.5	712	0.2	3.3
Blagowestschensk, Amurprovinz	52°	-24.2	229	-44.1	19.9	22.4*	1134	38.8	16.4	0.4*	684	-2.4	2.8
Valentia, Westl. Irland	52°	6.1	189	-47.7	53.8	15.6	1130	38.4	22.8	10.6	662	-4.4	15.0
East Yell, Shetland Inseln	60¼°	3.8	69	-58.5	62.3	11.9	1116	37.1	25.2	7.5	567	-12.7	20.2
Jakutsk, Ostsibirien	62¼°	-40.3	46	-60.8	20.0	18.6*	1115	37.2	18.6	-10.3*	547	-15.0	4.7
Ona, Westl. Norwegen	62½°	2.2	39	-61.4	63.6	12.6	1115	37.2	24.6	6.3	547	-15.0	21.8
Wercholanisk, Ostsibirien	67½°	-48.6	6	-64.4	15.6	16.4*	1120	37.4	21.0	-15.0*	498	-19.4	4.4
Erholm, Nördl. Norwegen	71°	-2.7	0	-65.0	62.3	9.3	1130	38.4	29.1	1.3	466	-22.4	23.7
Zwischen Nowaja Zemla und Franz-Josephs-Land	79° 0	-28.2	0	-65.0	36.8	1.6	1182	43.2	41.6	-15.6	429	-25.7	10.1
Floeberg Beach, Arkt. Amerika	83½°	-36.1	0	-65.0	28.9	3.5	1195	44.3	40.8	-19.7	419	-26.7	7.0

*) Auf das Meeresniveau reduziert. Bei der Mitteltemperatur des Januar ist dies unterblieben, da es noch unbekannt ist, wie gross diese Reduktion im Winter in Ostsibirien sich ergeben könne. Da alle drei Orte unter 200m über Meeresniveau liegen, so ist der Fehler jedenfalls klein.

Die obige Tabelle zeigt deutlich, dass auf der nördlichen Hemisphäre:

- 1) Im Verhältnis der empfangenen Sonnenwärme alle Parallele im Mittel des Jahres wärmer sind als der Äquator, und zwar soweit die Beobachtungen noch zahlreich genug vorhanden sind (bis zum 70° N. Br.) desto wärmer, je höher die Breite.
- 2) Dasselbe ist für die einzelnen gewählten Beispiele der Fall, und doch habe ich auch die kältesten Orte Sibiriens angeführt.
- 3) Im Winter ist dieser Überschuss der Wärme über die von der erhaltenen Sonnenwärme resultierende viel bedeutender als im Mittel des Jahres, selbst Werchojansk mit seiner Januar-temperatur von $-48,6$ nicht ausgenommen. In Seeklimaten höherer Breiten, namentlich wo warme Meeresströmungen wirken, ist dieser Überschuss enorm gross (so in East Yell, Ona, Fruholm über 62°).
- 4) Im Sommer ist hingegen die Temperatur, wenige anomal warme tropische Gegenden ausgenommen, kühler als diejenige des Äquators, im Verhältnis der erhaltenen Sonnenwärme (da zu dieser Zeit alle Parallele der nördlichen Hemisphäre mehr Sonnenwärme erhalten, als der Äquator); selbst die continentalsten Gegenden des nördlichen Indien, Centralasiens und Sibiriens, deren für die Breite warmer Sommer oft Erstaunen erregt, erweisen sich bei diesem Vergleiche als zu kalt. (Minusdifferenz der Columne a—c 5° bis 19° .) Besonders wird diese Kälte in der Nähe grosser vergletscherter Continente und eis erfüllter Meere gesteigert. (Minusdifferenz a—c 40° und darüber.)

Daraus folgt, dass das Gewohnte nicht mit dem Gesetzmässigen zu verwechseln ist. Was ist nun geläufiger als die niedrige Sommertemperatur hoher Breiten? Und doch, wenn die Temperatur im Verhältnis der empfangenen Sonnenwärme verteilt wäre, so müssten wir unter 70° N. Br. im Juli eine Mitteltemperatur von $38,9$ finden, um das richtige Verhältnis zu den $26,5$ am Äquator herzustellen (siehe Col. c), während jetzt das Mittel des Juli nur $6,9$ beträgt. Es ist der die Extreme mildernde Einfluss des Wassers in allen seinen Formen, welcher eine so niedrige Temperatur im Sommer in hohen Breiten erzeugt; besonders ist es das massenhafte Schmelzen von Schnee und Eis, welches so viel Wärme in Anspruch nimmt, dass die Lufttemperatur so sehr unter

derjenigen des Äquators zurückbleibt, während von der Sonne in derselben Zeit so viel mehr Wärme empfangen wird, als am Äquator. Schon jetzt ist in hohen Breiten, weit von den Meeren, wo im Winter wenig Schnee fällt und im Frühling bald schmilzt, der Sommer ziemlich warm, so z. B. in Werchojansk in Ostsibirien ($67\frac{1}{2}^{\circ}$ N.), Mitteltemperatur des Juli (ohne Reduktion auf das Meeresniveau) 15,6, und es sind schon Temperaturen über 30 beobachtet worden. Wenn die Temperatur auch dort im Sommer nicht dauernd hoch ist, so kommt dies von dem Einflusse der nahen Meere, des arktischen Oceans und ochotskischen Meeres, welche auch im Hochsommer mit Treibeis erfüllt sind. Es findet sich eben jetzt auf der nördlichen Hemisphäre in hohen Breiten keine Gegend, welche durch räumliche Entfernung oder den Schutz hoher Bergketten so sehr von dem erkältenden Einflusse eisefüllter Meere isoliert wäre, als dass sich im Sommer Temperaturen entwickeln könnten, welche, entfernt der grossen, von der Sonne erhaltenen Wärmemengen entsprächen. Namentlich jenseits des 71° sind alle Beobachtungen am Meere gemacht worden, also unter dem unmittelbaren Einflusse grosser Mengen thauenden Eises.

Was uns auf der nördlichen Hemisphäre in Breiten von 70° und darüber ganz natürlich erscheint, d. h. eine Sommertemperatur wenig über dem Gefrierpunkt, das befremdet uns auf der südlichen Halbkugel, weil dort in viel niedrigeren Breiten vorkommend (Mitteltemperatur des wärmsten Monats 70° N. Br. 6,9; 50° S. Br. 5,9*), also in einer um 20° niedrigeren Breite noch um 1,0 weniger), obgleich die Ursachen dieselben sind: der im Sommer abkühlende Einfluss grosser Wassermassen und namentlich des thauenden Eises. Der 50° wie der 70° Breitengrad empfangen im Sommer etwa gleichviel Wärme von der Sonne, also wenn der 70° N. Br. und der 50° S. Br. im wärmsten Monate nahezu die gleiche Temperatur haben, so beweist dies, dass hier wie dort eine nahezu gleiche Proportion der empfangenen Sonnenwärme durch Wasser, thauendes Eis etc. absorbiert werden. Der 30° empfängt im Hochsommer nicht mehr Wärme von der Sonne als der 50° , also würde letztere es nicht verhindern können, dass der wärmste Monat auch unter 30° eine so niedrige Temperatur hätte, wie der 50° S. Br. jetzt. Es ist nur die nötige Quantität Eis oder durch Eisschmelze abgekühltes Wasser nötig; dabei braucht das Eis gar nicht an Ort und Stelle gebildet zu sein, es kann von höheren Breiten durch Winde und Meeresströme gebracht werden.

Denken wir uns hingegen einen Kontinent um den Südpol,

*) Nach den Beobachtungen auf der Insel Kerguelen berechnet, der einzigen streng oceanischen Station in diesen Breiten.

rd etwa bis zu 75° S. Br. reichend und an seinem Nordrande von einem 4000 m hohen Gebirge umringt. Die Niederschläge würden am Südabhange des Gebirge fallen, im Innern aber fast gar keine. Im Winter, während der langen Polarnacht, würden sehr niedrige Temperaturen herrschen, aber sobald die Sonne wieder erscheint würde nichts die Kraft ihrer Strahlen hemmen, und in der Mitte des Sommers könnten wir Temperaturen erwarten, höher als am Äquator.

IV.

Wenn das Wasser allgemein anerkannt ist als Ursache der Milderung der Temperaturoegensätze, und wenn in dieser Hinsicht die Oeane unserer Erde einen besonders grossen Einfluss üben, so muss doch unterschieden werden zwischen Wasser im Ruhezustande und Wasser in Bewegung. Das Erstere wirkt hauptsächlich in der Zeit, indem es die Gegensätze von Tag und Nacht, Sommer und Winter abstumpft, letzteres ausserdem im Raume, indem es die Unterschiede der Temperatur der verschiedenen Breitenkreise mildert. Ohne die Existenz der grossen Meeresströme wären der Äquator und die Tropen wärmer, die höchsten Breiten kälter, als sie jetzt sind. Wo die Circulation der Gewässer träge ist, da sehen wir auch jetzt Annäherungen an solche Zustände: das Wasser des Roten Meeres und die Luft darüber sind wärmer, als an irgend einem Meere, welches durch die Strömungen stärker beeinflusst wird, ebenso sind die Meere in der Nähe des Polararchipels von Nordamerika kälter als diejenigen Meere in denselben Breiten, wo die Strömungen stärker auftreten.

Die Frage über die Ursache der Meeresströmungen ist lange eine sehr bestrittene gewesen, aber nach den zwingenden Beweisen, welche Zöppritz gebracht hat*), ist nicht mehr zu zweifeln, dass die Winde das primäre Motiv sind, während die Kontinente und Inseln nachher die Strömungen modificieren und zuweilen sogar zwingen, auf kurze Strecken gegen den Wind sich zu bewegen.

Eine der wichtigsten und jedenfalls die am besten bekannte Strömung ist der sogen. Golfstrom, welcher das warme Wasser des tropischen atlantischen Oceans in so hohe Breiten bringt. Es lassen sich für den Golfstrom und dessen erwärmende Wirkung absolute Zahlen, d. h. in mechanischen Wärmeeinheiten, geben.

In seinem geistreichen Buche „Climate and Time“ schätzt Croll den Golfstrom bei dessen Ausgange aus der Strasse von Florida auf 50 engl. Meilen Breite, 1000 engl. Fuss Tiefe und nimmt eine Geschwindigkeit von 2 engl. Meilen pro Stunde an.

*) Pogg. Ann. April 1877; Annalen der Hydrographie, 1878.

Dies giebt eine Wassermenge von 2 787 840 Mill. engl. Kubikfuss pro Stunde, oder 1896 Kubikkilometer pro Tag. Die Schätzung Croll's ist noch sehr niedrig, denn Colding nimmt 3197, Maury 4192, Herschel 5021 Kubikkilometer pro Tag an. Weiter nimmt Croll an, der Golfstrom hätte in der Strasse von Florida 65° F. und am Ende seines Laufes 40° F. d. h. er gäbe 25° F. (13.9 C°) an die umringende Luft und das Meerwasser ab.

In mechanischen Einheiten giebt also der Golfstrom pro Tag 10 682 197 000 000 Millionen Kilogrammster ab, oder eine Wärmemenge gleich derjenigen, welche 4042656 qkm Landes an beiden Seiten des Äquators an einem Tage von der Sonne erhalten.

Natürlich kann diese Rechnung nicht auf grosse Genauigkeit Anspruch machen, namentlich scheint es mir, dass Croll eine zu niedrige Endtemperatur angenommen und daher die thermische Wirkung des Golfstromes überschätzt hat. Aber da er die Wassermasse viel kleiner annimmt, als die meisten anderen Gelehrten, welche sich mit diesem Gegenstande beschäftigten, so mag das Endresultat Croll's wahrscheinlich der Wahrheit nahe genug sein.

Jedenfalls ist der Einfluss des Golfstroms auf die Temperatur der Luft in seiner Nähe sehr gross. Die folgende Tabelle giebt die Temperatur der Oberfläche verschiedener Punkte am Atlantischen Ocean. Die vier letzten sind solche, wo der erwärmende Einfluss des Golfstromes sich besonders geltend macht, und eine Vergleichung mit der vorigen Tabelle zeigt, dass auch die Lufttemperatur im Mittel des Jahres, und namentlich im Winter, sehr hoch ist; man sieht also Ursache und Wirkung.

Temperatur der Oberfläche des Atlantischen Oceans.	N. Breite.	Januar.	Juli.
von 20°—30° W. Länge	0°—2°	26.3	25.4
von 20°—30° W. Länge	4°—6°	26.7	27.1
An der Küste der Vereinigten Staaten, 72° W.	36°	25.4	27.8
Bei Madeira, 18° W.	33½°	16.6	20.8
Bei Newfoundland 52° W.	46°	— 0.4	6.7
Bei der Westküste Irlands, 11° W.	52°	10.4	15.0
Bei East Yell, Shetland-Inseln	60½°	7.8	11.5
Bei Ona, W. Norwegen	62½°	5.0	12.4
Bei Fruholm, nördl. Norwegen	71°	3.2	7.7

Also noch ganze 10° nördlich von der Florida-Strasse unter 36° N. Br. hat das Wasser des Golfstromes eine so hohe Temperatur, dass es im Juli um 2,4 wärmer, im Januar nur 0,9 kälter ist als das Wasser des atlantischen Oceans zwischen 0°—2° N. Br., während nur 10° nördlich davon, aber im kalten Labradorstrom, im Januar —0,4 im Juli 6,7 beobachtet werden. Schon in diesen

Breiten, noch mehr aber in höheren, kommt die Wärme des Golfstroms den Küsten Europa's zu Gute. Es beträgt der Unterschied der Temperatur des Wassers

	Januar	Juli
im westlichen Teile des Oceans, zwischen		
36°—46° N. Br.	25,8	21,1
oder auf 1° Breite	2,58	2,11
im östlichen Teile zwischen 33½°—71° N Br.	13,2	13,1
oder auf 1° Breite	0,35	0,34

Also ist der Unterschied der Temperatur des Wassers auf 1 Breitengrad bei den Küsten Amerika's etwa siebenmal so gross, wie bei den Küsten von Afrika und Europa.

Nach allem diesem ist es wohl ganz richtig, die Meeresströmungen die grossen Regulatoren der Temperatur auf unserem Erdballe zu nennen, trotzdem noch Viele diese Rolle den Luftströmungen zuweisen wollen.

Jedoch man muss bedenken, dass das spezifische Gewicht von Luft und Wasser sich wie 1 : 773,28 verhält, ihre Wärmecapacität wie 1 : 4,2, dass also eine gegebene Einheit Wasser unter sonst gleichen Bedingungen ebenso viel Wärme enthält, als 3248 Einheit Luft, oder 3248 Mal soviel, als dieselbe Einheit Luft.

Daraus folgt, dass Luft viel weniger fähig ist, die Wärme auf grosse Entfernungen zu transportieren, als Wasser; die viel grössere Masse Luft, welche nötig ist, um eine gegebene Wärmemenge zu transportieren, wird allein durch Strahlung gegen den Himmelsraum viel Wärme verlieren.

Um eine Wärmemenge gleich derjenigen des Golfstroms zu transportieren, unter sonst gleichen Bedingungen, müsste der Luftstrom 6 148 208 kbkm mächtig sein, oder, eine Höhe von 5 km angenommen, einen Flächenraum von 1 229 642 qkm einnehmen. Aus diesen Exempeln geht wohl klar hervor, dass Luftströme direkt nicht im Stande sind, einen so grossen mildernden Einfluss auf die Verteilung der Temperaturen im Raume zu üben, wie die Meeresströme. Jedoch ihr indirekter Einfluss ist sehr bedeutend

- 1) dadurch, dass die Winde die ersten Ursachen der Meeresströme sind;
- 2) dadurch, dass sie die Luft von den Meeresströmen landeinwärts bringen, und so den Einfluss der letzteren in solche Gegenden dringen lassen, wo dieselben direkt nicht wirken können.

Aus diesem folgt, dass um zu urteilen, inwiefern ein kalter oder warmer Meeresstrom auf die Lufttemperatur in benachbarten Gegenden wirken kann, wir auf die vorherrschenden Winde achten

müssen. Da in diesem Gegenstände oft noch Missverständnisse obwalten, so muss ich einige Beispiele geben.

Die Mitteltemperatur des Januar in Edinburgh ($55\frac{3}{4}^{\circ}$ N. Br.) ist 2,9, in Tokio (Jeddo) ($35\frac{3}{4}^{\circ}$ N. Br.) aber 2,3. Nun liegt Tokio ganze 20° südlicher als Edinburgh und dabei viel näher dem wärmsten Teile des Kuro-Siwo als Edinburgh dem wärmsten Teile des Golfstroms, aber die relative Wärme in Edinburgh kommt daher, dass hier im Winter SW-Winde vorwalten, als vom warmen Wasser des Golfstromes kommend und daher direkt erwärmend, und dazu noch indirekt dadurch, dass sie Wolken und Niederschläge bringen. In Tokio hingegen walten im Winter kalte NW-Winde vom asiatischen Kontinente vor, welche ausserdem noch klaren Himmel bringen und dadurch der Strahlung günstig sind. Daher ist in Tokio, trotz der Nähe der warmen Gewässer des Kuro-Siwo ihr Einfluss im Winter sehr klein, eben weil die Windrichtung diesem entgegentritt.

Selbst die Küsten von Labrador unter $55\frac{3}{4}^{\circ}$ sind dem wärmsten Teile des Golfstromes näher als Edinburgh, und doch haben wir im Januar dort —19,8, also eine um 22,7 kältere Temperatur als in Edinburgh. In Labrador ist auch die sehr vorwaltende Windrichtung in Winter (NW.) einem Einflusse des Golfstromes ungünstig.

Die Bewölkung hat einen sehr bedeutenden Einfluss auf die Verteilung der Temperatur, und zwar je nach der Temperatur, welche die Oberfläche der Erde erreicht hat und je nach der Stärke der Bestrahlung durch die Sonne, einen erwärmenden oder erkältenden Einfluss. Ersterer wird besonders stark hervortreten in der langen Winternacht jenseits der Polarkreise, und zwar je näher den Polen, desto mehr. Im Sommer im Gegenteil haben die Wolken einen abkühlenden Einfluss und zwar ganz besonders während des langen Sommertages in der Nähe der Pole.

Für das Studium der Eiszeiten haben die Bewölkung und die Nebel des Sommers eine viel grössere Bedeutung als diejenigen des Winters, denn es ist uns weniger wichtig zu wissen, welche Temperatur die Oberfläche des Eises oder Schnees im Winter erhalten wird, als wie viel im Sommer thaut. Letzteres hängt unter anderm auch davon ab, welches Quantum Sonnenwärme durch Wolken und Nebel verhindert wird, bis an die Oberfläche der Erde zu dringen.

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 Binneneise 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 sehr 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^o—72^o

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

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 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

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

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 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. Fulke	—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 Ver-

gleich 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, Reykiavig 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. Breitegrad, 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 analog denen 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~~ *Süd* 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 $70^{\circ}-75^{\circ}$ 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 und 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 den ausgedehnten, vielleicht im Jahresmittel kälteren, aber nicht permanent schneebedeckten Kontinentalfächen 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

*) John James Wild: Thalassa, London 1877.

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

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 bedeutenden Einfluss auf die Abkühlung des Wassers in mittleren südlichen Breiten übt. Ich muss auf das bei Gelegenheit Grönlands Erwähnte verweisen. In der Nähe des Südkontinentes 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 Breitegrad 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 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.

*) Untersuchungen über die Klimate der Gegenwart und Vorzeit.

**) Zeitschrift für Meteorologie, Bd. VII S. 241.

***) Plus bedeutet: nördliche Halbkugel wärmer, minus — dieselbe kälter.

†) Meteorology of antarctic regions.

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 noch 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.

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 Südpolarmeere 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 verfehltsten 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

*) S. „Nature“ 1880 und 1881.

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 Contrast der Jahreszeiten doch gross war und da 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 (Sonnennähe), 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 (0.0168) viel kleiner als das Mittel, während die grösste nach den Formeln Leverrier's auf 0.0777, nach den neueren, genaueren Berechnungen von Stockwell 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,

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

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 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 Wendekreise 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 das Weltall heben“, passt auf die Croll'sche Hypothese: der Mechanismus rollt von selbst, einmal

*) In seinem Buche „Climate and Time“.

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 beständig 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. Es 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 oft 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 aus-

genommen — 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 geworden, 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 Ursache 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, Scandinavien 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 *ark* 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 Pla-

teaus 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 Verhältnis 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 central-europäischen 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 Aus-

dehnung 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 mitteldeutschen 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 ab-

fällt 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

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

Kukunor-Gebiete und der östlichen Mongolei*) ist schon das Monsunklima sehr ausgeprägt — ein kalter aber schneearmer 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 erfolgen. 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,

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

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 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 Hügeländer 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.

*) 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.

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. Jedenfalls 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 Be-

*) Rein, Japan.

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

ständigkeit 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, 550k 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 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 ~~Hohe~~ von Gebirgen

Nähe

*) „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.

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

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 Breitegraden 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 ursprünglich 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 ver-

gletscherte 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 Hinsicht den Eisverhältnissen auf den über Wasser gebliebenen Teilen günstig: 1) weil die trockenen Kontinentalfächen 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 Oeane 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.

*) In seinem Buche „Climate und Time“.

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 grösserer Erstreckung des Eises an denselben Orten nicht Süs- 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

*) Für die dabei vorgehenden Wärmereaktionen siehe Kap. II, S. 12.

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.

SE 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 Oceanen 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., concentrirt 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 Oceane 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.

22) Allgemeine Eisbedeckungen, die vom Pole bis etwa 45° reichen sollten, sind ganz unzulässig. Ist genügend Meer vorhanden, so kann es nicht gefrieren, bei grossen Kontinentalflächen wird das Klima für Gletscher zu trocken sein. Es werden sich also immer theilweise eisfreies Meer oder theilweise eisfreie Landflächen finden, gewöhnlich beides.
