

3. Studien über das Klima am Rande jetziger und ehemaliger Inlandeisgebiete.

Von

Otto Nordenskjöld.

Die Frage hinsichtlich des Klimas während der Eiszeit und der Abschmelzungsperiode des Landeises hat man bis jetzt hauptsächlich durch Studien der gleichzeitigen Pflanzen- und Tierwelt zu lösen versucht.¹ Aber auch diese Methode hat ihre Begrenzung: die Verbreitung der Organismen, vor allem ihr Fehlen zu einer gewissen Zeit, wird auch von anderen Umständen als den klimatischen bedingt, und es lässt sich nicht immer entscheiden, welche klimatische Faktoren für das Auftreten einer Pflanzenart bestimmend waren; auch erfährt man auf dieser Weise kaum, inwieweit das angenommene Klima einer Gegend typisch oder nur lokal bedingt war. Die Ansichten gehen auch auf diesem Gebiete ziemlich weit auseinander, und selbst die Tatsachen scheinen häufig gegen einander zu sprechen.

Zum Vergleich mit dieser Methode dürfte es deshalb von Interesse sein, das Klima in verschiedenen typischen Gebieten am Rande der jetzigen Inlandeismassen näher zu studieren, um daraus Schlussfolgerungen auch für die Eiszeit zu ziehen. Im folgenden werde ich dabei hauptsächlich auf die Temperaturverhältnisse Rücksicht nehmen, aber auch für den Niederschlag lassen sich, wie wir sehen werden, einige interessante Schlüsse ziehen.

Die Temperatur eines Ortes wird selbstverständlich vor allem durch die Polarentfernung bedingt, aber auch die Lage im Verhältnis zu Land und See übt wie allbekannt einen ganz entscheidenden Einfluss aus: es besteht ein durchgreifender Unterschied zwischen einem echt maritimen Klima und dem Landklima. Auch für das Polarklima liegt ein ähnlicher Gegensatz vor, aber meistens wird auf diesen Umstand nur sehr wenig Rück-

¹ Vergl. vor allem die grosse, zum Geologenkongresse in Stockholm 1910 herausgegebene Arbeit »Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit«.

sicht genommen. Die Hauptursache dieser Geringschätzung liegt wohl darin, dass überhaupt hier die Verhältnisse verwickelter sind. Viel grösseren Einfluss als das wenig ausgedehnte eisfreie Land übt das *Landeis* auf das Klima aus, und auch die Einwirkung des Meeres ist wegen der Eisbedeckung eine andere als sonst. Es genügt hier nicht von Land- und Seeklima zu sprechen; wir müssen hier mindestens drei verschiedene Klimatypen unterscheiden: Land-, Landeis- und Seeklima, das letztere je nach der Ausdehnung der Eisbedeckung wechselnd.

Die klimatische Eiswirkung von Land und Meer ist ja schon wohl bekannt. Um das Polarklima zu verstehen, muss man aber noch die Temperaturverhältnisse auf dem Binneneis sowie auf eisbedeckten Meeresgebieten näher studieren. Letztere kennen wir vor allem durch die Reise NANSEN's. Dieser traf hier auf dem inneren Nordpolarbecken für die Jahre 1894—96 als Durchschnittstemperatur für die drei Sommermonate $-1^{\circ},2$ (Juli $+0^{\circ},1$), für die Wintermonate $-34^{\circ},7$. Dies lässt sich wohl als ein typisches binnennpolares Eismeerlima betrachten. — Viel weniger bekannt ist leider das Klima auf dem Landeis, obschon wenige Probleme der geographischen Entdeckungsforschung wichtiger sind als dies. Die einzige Expedition, die in einem solchen Gebiete etwas länger verweilt hat, diejenige von KOCH und WEGENER, hat ihre Ergebnisse bis jetzt nicht veröffentlicht. Wir sind deshalb auf kürzere Beobachtungsreihen aus dem Sommer angewiesen, vor allem auf die von MOHN bearbeiteten Beobachtungen von NANSEN in Grönland 1888 und von AMUNDSEN in der Umgebung des Südpols 1911—12. Alle diese Beobachtungen bestätigen, dass das Sommerklima hier ausserordentlich niedrig ist; MOHN und HANN berechnen als Normalwert für den Südpol nach Reduktion auf die Meeresoberfläche für Dezember etwa -7° (Dezember 1911 $-9^{\circ},8$), also $5-8^{\circ}$ niedriger als in dem an und für sich abnorm kalten Eismeerlima am Nordpol. Durch indirekte Beobachtungen, auf die ich unten zurückkomme, kann man schliessen, dass auch die Wintertemperatur niedrig ist, allerdings verhältnismässig nicht so tief wie die Sommertemperatur. Diese Umstände lassen sich aus den thermischen Eigenschaften des Eises erklären, und bei unserer Winterstation Snow Hill hatten wir 1902—03 Gelegenheit zu einem längere Zeit andauernden Vergleich zwischen den Temperaturen von Luft, eisfreiem Boden, Landeis und Seeeis. Die Ergebnisse sind in dem Diagramm Fig. 1 niedergelegt:¹ man sieht, dass im Winter das Landeis ein wenig wärmer war als das Land, dagegen viel kälter als das Meereis; im Sommer war aber das Eis viel kälter als das Land, und dasselbe gilt in schwächerem Masse auch für das Jahresmittel. Der Unterschied war im Sommer so gross, dass der fallende Schnee auf dem Eise liegen blieb, dass dieses also auch im Sommer an Masse wuchs, während

¹ Vergl. weiter O. NORDENSKJÖLD, Die schwedische Südpolarexpedition und ihre geographische Tätigkeit. Wiss. Erg. d. schwed. Südp. Exp., Bd. I, Lief. 1 (1911): 128 u. f. — Über die gleichzeitigen Lufttemperaturen vergl. ausführlich die Bearbeitung BODMAN's in Band II derselben Arbeit.

in seiner unmittelbaren Nähe auf eisfreiem Boden auch in einem ungewöhnlich kalten Sommer aller Schnee schmolz.

Für unsere Frage hinsichtlich des Klimas in den Randgebieten eines Binneneises spielen diese Beobachtungen direkt keine Rolle, indirekt sind sie aber notwendig, wenn man die lokalen Unterschiede des Polarklimas verstehen will. Ich habe in der folgenden Tabelle die Temperaturbeobachtungen an einigen in einer oder anderer Hinsicht typischen Polarorten im Norden und Süden zusammengestellt.¹

	Sagdlit 60° 15' N, 45° 15' W	Ivigut 61° 12' N, 48° 11' W	Upemvik 72° 47' N, 55° 55' W	Fr. Josephs Ld. 80° 20' N, 56° 20' E	N. Eismeer ² 82° 40' N, 89° 10' E	Snow Hill 64° 22' S, 57° 0' W	Gerlache-Kan. ³ 65° 6' S, 65° 0' W	S. Victoria Ld. 77° S, 170° E	Framheim ⁴ 78° 38' S, 163° 37' W
März	-3,3	-4,8	-22,0	-23,9	-30,3	-10,3	-0,1	-15,3	-21,9
April	0,4	-0,9	-14,6	-17,5	-22,8	-13,8	-5,1	-22,7	-31,1
Mai	1,8	4,4	-4,2	-8,5	-11,0	-18,2	-7,7	-23,6	-32,8
Juni	4,5	7,9	1,7	-0,8	-1,8	-19,7	-8,8	-24,4	-34,1
Juli	4,1	9,7	5,0	1,4	0,1	-20,8	-13,0	-25,9	-36,5
Aug.	4,7	8,3	4,9	0,4	-1,8	-19,2	-6,1	-25,9	-36,8
Sept.	3,6	4,8	0,5	-5,7	-9,0	-15,6	-4,7	-24,3	-34,1
Okt.	1,0	1,0	-4,1	-15,7	-21,8	-9,5	-4,9	-19,0	-25,6
Nov.	-0,5	-3,3	-9,9	-22,7	-28,7	-8,1	-0,7	-10,0	-13,0
Dez.	-2,9	-6,5	-17,0	-25,4	-32,2	-2,0	0,3	-3,9	-4,6
Jan.	-5,7	-7,6	-22,0	-26,2	-35,6	-0,9	1,0	-4,5	-5,7
Febr.	-7,0	-7,5	-22,8	-26,8	-35,8	-3,5	0,5	-8,9	-12,6
Frühling	-0,4	-0,4	-13,6	-16,6	-21,4	-11,1	-3,4	-17,8	-24,2
Sommer	4,4	8,6	3,9	0,3	-1,2	-2,1	0,6	-5,8	-7,6
Herbst	1,4	0,8	-4,5	-14,4	-19,8	-14,1	-4,3	-20,5	-28,6
Winter	-5,2	-7,2	-20,6	-26,1	-34,5	-19,9	-9,3	-25,4	-35,8
Jahr	+0,1	+0,5	-8,7	-14,3	-19,2	-11,8	-4,1	-17,4	-24,1
Niederschl. in mm	—	1167	233	488	—	—	(378)	—	—

Als Beispiel eines solchen typischen nordpolaren Randklimas lässt sich das westgrönländische Upemvik wählen. Die Julitemperatur ist etwa +5°, das Februarmittel beträgt etwa -23°, in beiden Fällen also kühl, aber nicht besonders kalt; die Jahresschwankung beträgt 28°. Tatsächlich ist dies Klima trotz der Nähe des grossen Eises ziemlich rein polar-

¹ Nach den Originalberichten sowie nach HANN, Handbuch der Klimatologie, 2.

² Die Nansen-Triit; mittlere Position für 1894—96.

³ Die Charcot-Expeditionen von 1904 und 1909; mittlere Position.

⁴ Ausgeglichenen Werte nach HANN.

maritim und ganz überwiegend von dem Einfluss des Meeres bedingt, das trotz seiner Eisbedeckung die Wintertemperatur mildert, die Sommertemperatur dagegen bedeutend senkt. Die Ähnlichkeit mit dem von NANSEN gefundenen Eismeerklima ist auch auffallend; eine Abnahme der Julitemperatur um etwa 5° , der Januartemperatur um 12° in 10–12 Breitengraden lässt sich als recht normal betrachten. Zu demselben Typus gehört auch das Klima auf der Ostseite von Grönland sowie auf Spitzbergen, überhaupt an den nordatlantischen Polarküsten.¹ Gehen wir etwas weiter nach Süden, so finden wir an den äusseren Schären an der Südspitze Grönlands (Breite von Kristiania) eine Julitemperatur von $3-5^{\circ}$, eine Januartemperatur von -6 bis -7° . Im Sommer wirken die Treibeismassen des Meeres abkühlend, im Winter bedingt die Nähe fast eisfreier Meeresgebiete eine relativ hohe Temperatur.

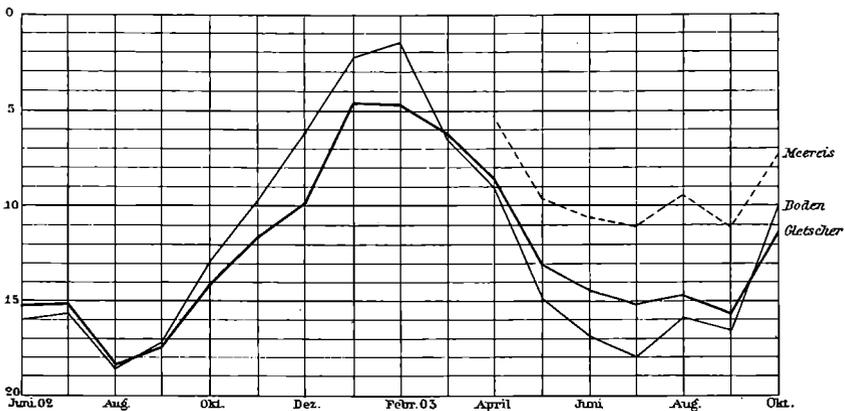


Fig. 1. Diagramm zum Vergleich der Temperatur in Landeis, Boden und Meereis bei Snow Hill (Tiefe 1,0 m, Juni 1902—Okt. 1903).

Dass wirklich hier eine Meereseinwirkung vorliegt, geht daraus hervor, dass, wenn man weiter in die Fjorde hineindringt, die Temperatur trotz der grösseren Nähe des Binneneises, das in entgegengesetzter Richtung wirken sollte, im Sommer bedeutend wärmer, im Winter kälter ist als an der Küste.² Die Gegensätze sind dabei auch in kurzen Entfernungen recht bedeutend, wie vor allem durch die langjährigen dänischen Beobachtungen in Grönland bekannt ist.

Dies ist offenbar ein kontinentaler Charakterzug des Klimatypus, und wir stehen jetzt vor der Frage, ob überhaupt irgendwo ein echt polares Landklima vorliegt. An Gebieten, die im Sommer schneefrei und im Winter wenigstens schneearm sind, fehlt es in den inneren Polarregionen nicht, z. B. an der Nordseite Grönlands, aber längere Temperaturserien aus den

¹ Auch in Franz Josephsland, wenigstens im Winter; der Sommer ist dort sehr kalt.

² Der Unterschied ist aber, so weit man bis jetzt sehen kann, im Winter geringer als im Sommer.

küstenentfernten Teilen dieser Länder liegen leider kaum vor. Ein anderes derartiges Gebiet liegt an der Westküste Grönlands, zwischen 64° und 69° n. Br. Hier habe ich im Sommer 1909 mit einer Expedition gearbeitet. Dass das Klima hier im Sommer warm und trocken ist, wurde schon durch ältere dänische Beobachtungen angedeutet, die Ergebnisse, die ich selbst fand, waren aber doch etwas unerwartet. Das Material, das ich besitze, ist allerdings sehr mangelhaft, aber mit Hülfe von gleichzeitigen Beobachtungen in Holstensborg sowie einem Material, das mir Direktor RYDER gütigst zur Verfügung gestellt hat, scheint es doch durch Extrapolieren möglich festzustellen, dass die Julitemperatur am Polarkreise

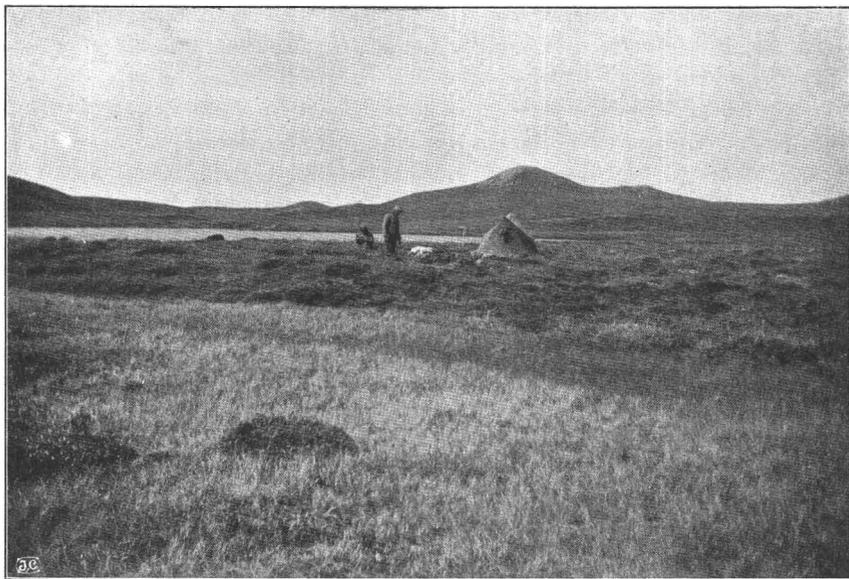


Fig. 2. Westgrönländische Landschaft nahe dem Rande des Inlandeises (mit warm-trockenem, kontinentalem Sommerklima).

im Binnenlande, etwa 120—140 km von dem äusseren Meeresbände, aber in der Nähe des Binneneises, ganz abnorm warm ist und wahrscheinlich zwischen $+12^{\circ}$ und 15° liegt. Die Windrichtung ist wie zu erwarten überwiegend kontinental, im Sommer herrscht aber häufig Windstille mit heiterer Luft. Dabei ist das Klima sehr trocken¹, und die Schneemenge ist offenbar auch im Winter gering; über die Wintertemperatur ist aber bis jetzt nichts bekannt.

Ein derartiges Klima war bis jetzt aus den eigentlichen Polargebieten nicht bekannt. Der Typus ist jedenfalls scheinbar rein kontinental, ohne

¹ Das Gebiet ist reich an abflusslosen Seen zuweilen mit salzigem Wasser, Salzausblühungen und eigentümlichen Verwitterungsformen. Vergl. weiter O. NORDENSKJÖLD, Einige Züge der phys. Geographie — Süd-Grönlands. Geogr. Zeitschr. XX (1914): 509 u. f.

merkbare Einwirkung vom Eise oder vom Meere. Es fragt sich nun, ob dies das normale Klima am Rande eines Inlandeises ist. Diese sehr bedeutungsvolle Frage wird durch die Ergebnisse der Südpolarforschung entschieden verneint. Wir wissen jetzt, dass an allen antarktischen Stationen die Sommertemperatur ausserordentlich niedrig ist; schon auf unserer Station, Snow Hill, in $64\frac{1}{2}^{\circ}$ s. Br. war die Temperatur des wärmsten Monats, allerdings in einem kalten Jahre, $-0^{\circ},9$ und in den inneren Polar-gebieten trifft man noch bedeutend niedrigere Temperaturen, z. B. in Framheim 1911—12 etwa -6° . Auch der Winter ist kalt im Vergleich zu den meisten, nicht rein kontinentalen Nordpolargebieten, aber die jährliche Temperaturschwankung ist verhältnismässig gering, bei Snow Hill z. B. etwa 20° . Früher hat man wohl versucht, diesen Klimatypus als maritim zu bezeichnen, was aber offenbar unrichtig ist: derartig kalte Sommer kommen z. B. nicht einmal am Nordpol selbst, in der Mitte des Eismeeres, vor. Wir begegnen hier dem glazialen Typus, und die neuen Forschungsergebnisse eröffnen uns die Möglichkeit denselben zu verstehen. Fast um den ganzen Südpolarcontinent herum wehen überwiegend südliche, polare Winde aus dem eisbedeckten Inneren, und diese Winde sind meistens relativ kalt, oft sogar sehr kalt. Gerade bei Snow Hill war der Gegensatz auffallend zwischen den abnorm kalten Südweststürmen, dem gewöhnlichsten Witterungstypus, den verhältnismässig sehr milden Nordwinden und den häufigen Windstillen, und ich habe schon damals behauptet, dass die niedrigen antarktischen Durchschnittstemperaturen gerade durch diese kalte Luftmassen glazialer Herkunft bedingt seien. Eine neue Beleuchtung hat diese Frage durch die Ergebnisse der Expedition MAWSON's erfahren. Dieser traf auf seiner Winterstation am Polarkreis unter 142° ö. L. ein Klima, das an »Strenge« auf Erden ohne gleichen dasteht. Die Jahrestemperatur war etwa -18° , aber mehr als diese Kälte bedeuten die Stürme; die durchschnittliche Windstärke für das ganze Jahr soll etwa 22 m in der Sek. betragen haben. Fast ohne Aufenthalt, Winter und Sommer, stürzt der Wind mit Sturmstärke von S oder SSE über den Eisrand herunter, und diese ausserordentlich kalten Stürme sind es, die zu der niedrigen Jahrestemperatur Veranlassung geben. Die Kälte der antarktischen Randzone wird also durch die Abkühlung der Landeismassen hervorgerufen, der Klimatypus ist glazial. Freilich sind die Polarstürme gerade im Sommer, wo ja doch die Kälte relativ am meisten auffällt, am schwächsten, aber sie sind, wie uns vor allem die Ergebnisse MAWSON's lehren, stark genug, um durch Zuführen kalter Luft ein Klima noch kälter zu machen, das schon durch den Einfluss der See-eismassen und beim Fehlen fast jedes unbedeckten Bodens kalt genug ist.

Es gibt auch südpolare Randgebiete, wo die Windstärke geringer ist; bekannt ist in dieser Hinsicht die Station AMUNDSEN's, Framheim. Hier waren die Temperaturen noch niedriger (vergl. die Tabelle oben), und der Jahresdurchschnitt, -26° , ist der niedrigste, den man bisher kennt. Dies ist aber eben der reine Glazialtypus; die Kälte wird durch die starke

Ausstrahlung über den abgekühlten Eismassen hervorgerufen und ist, wie es scheint, auf die unteren Luftlager beschränkt. Auch die schweren Stürme der anderen Südpolargebiete erstrecken sich wohl nicht sehr weit; der Luftaustausch ist aber doch tatsächlich stark genug, um die tiefen Temperaturen der Landeisgebiete ein gutes Stück weiter über den Eisrand zu führen.

Fassen wir nun das hier Gesagte zusammen.

Wir haben in Randgebieten der polaren Landeis Massen drei grundsätzlich verschiedene Klimatypen gefunden, und zwar einen maritimen, einen kontinentalen und einen glazialen. Der maritime Typus tritt vor allem an dem Aussenrande der atlantischen Polarinseln, also da, wo das umgebende Meer verhältnismässig warm ist, hervor; im Süden gehören hierher die von dem eisbedeckten Kontinente etwas abgelegenen Inseln (Südgeorgien, gewissermassen auch die Südorkneys). Der Sommer ist kühl, aber nicht sehr kalt (etwa $+3$ bis 6°); der Winter ist auch nicht sehr kalt (typisch etwa -15 bis -25°). Die Unterschiede sind aber im Winter je nach der Polarentfernung und noch mehr je nach der Verschiedenheit in der Lage und im Zustand des Meeres gross; in der Nähe des Nordpols, wo das Meer fest zusammenfriert, wird die Temperatur niedriger, und ebenso da, wo das Meer gleichzeitig an Ausdehnung zurücktritt, wie an der Nordwestecke Grönlands; hier ist der Typus in dieser Jahreszeit fast kontinental zu nennen.

Der kontinentale Typus zeichnet sich durch bedeutend höhere Sommertemperaturen bis zu 12 oder 15° , und unter gleichen Umständen durch niedrigere, wo der Typus rein ist, sehr tiefe Wintertemperaturen aus. Es gehören hierher die nördlichsten Teile der Kontinente (Ostsibirien, das nördlichste Amerika und der amerikanisch-arktische Archipel), aber wir haben auch den Typus jedenfalls für den Sommer dicht am Rande des Eises, in dem verhältnismässig schmalen Streifen zwischen Eis und Meer in Westgrönland getroffen. Das Sommerklima ist hier gleichzeitig ungewöhnlich trocken, die Landschaft ist als Polarsteppe zu bezeichnen.

Der wichtigste Klimatypus am Rande des jetzigen Inlandeises ist der glaziale. Vor allem herrscht er am Rande der grössten Eismasse der Jetztzeit, der antarktischen. Etwas abgeschwächt scheint der Typus auch in einigen nordpolaren Gebieten (Nordgrönland, vielleicht im Sommer Franz Josephsland) vorzuliegen. Die Sommer sind viel kälter als in anderen Gebieten, die Temperatur des wärmsten Monats liegt meist unter 0° . Auch die Wintertemperatur ist da, wo der Typus rein auftritt, niedrig, wenn auch nicht ganz so tief wie in echten Kontinentalgebieten, die niedrigste Monatstemperatur kann -40° oder noch mehr betragen. Wo aber wärmere Meeresteile in der Nähe liegen und gelegentlich einwirken können, wird die Temperatur höher (Kap Adare -25° , Snow Hill nördl. vom Polarkreis -21°).

Diese bedeutenden Klimaänderungen bewirken selbstverständlich auch Änderungen in der Vegetation. Der maritime Typus entspricht der »ge-

wöhnlichen», oft beschriebenen Polarflora. Der floristische Charakter dürfte in den »kontinentalen» Teilen Grönlands von diesem nicht viel abweichen, Vegetationsformen und Landschaft sind aber wegen der Trockenheit hier andere. In Gegenden mit glazialen Klimatypus fehlt wegen der Sommerkälte fast jede höhere Vegetation, und es ist die reine Polarwüste, die hier herrscht.

Ganz ausnahmsweise kommen in den Fjorden Südgrönlands, da wo der Sommer warm, kontinental, der Winter dagegen milde, halbmaritim, ist, verkrüppelte Wälder von Birken und Ebereschen vor. Wo dagegen, wie in Alaska und Neuseeland, üppige Wälder am Rande des Eises wachsen, handelt es sich nicht länger um kontinentales Inlandeis, sondern um wenn auch mächtige Gebirgsgletscher.

Es wäre nun von ganz besonderem Interesse die Frage zu lösen, warum in Grönland und Antarktika, am Rande der beiden grössten Landeismassen der Erde, zwei so ganz verschiedene Klimatypen auftreten. In Grönland liegt zwischen dem Eis und dem Meere Land, in Antarktika stösst das Eis direkt an das Meer, aber dies kann nicht die primäre Ursache der Verschiedenheit sein. In beiden Gebieten liegt über dem Eise normal eine Antizyklone, und die vorwiegende Strömungsrichtung der Luftmassen geht von dem Eis nach dem Meere zu. Dabei würde man erwarten, dass die Luft föhnartig erwärmt werde. In der Tat spielt in Grönland derartiger gelegentlich auftretender Föhn eine grosse Rolle für die Landschaft und die Temperaturdurchschnittszahlen; in der Antarktis hört man dagegen weniger von Föhn reden, und an einer so typischen Stelle wie die Station MAWSON's scheinen warme Stürzwinde von dem Eise nicht vorzukommen. Darin liegt aber keine Erklärung der grossen Unterschiede in der Natur. Die Luftbewegungen sind in der Antarktis viel kräftiger, was auf eine stärkere Einwirkung des Eises hindeutet. Meiner Ansicht nach ist die antarktische Ausbildung das Normale da, wo ein glaziales Hochdruckgebiet dicht an einem ausgesprochenen Tiefdruckgebiete liegt. Ein solcher starker Gradient von dem Eise nach dem Meere ist in Westgrönland wenigstens im Sommer nicht vorhanden. Leider wissen wir über die Änderungen im Luftdruck, wenn man sich von dem Meeresrande entfernt, noch viel weniger als über die Temperaturänderungen. Es scheint aber, dass über dem weniger eisbedeckten Küstenstreifen eine ganz schwach ausgebildete barische Rinne liegt, dass also der Luftdruck auch nach Westen etwas zunimmt.¹ Hier darf man sich vielleicht vorstellen, dass sich im Lee der grossen Eismasse eine eigene Zirkulation entwickelt, deren Aufwärtsbewegung zu schwach ist, um zu ergiebigen Niederschlägen Veranlassung zu geben; vielmehr besteht eine Tendenz zu stillem Wetter mit klarer Luft. Dass die herrschenden Winde kontinental, östlich sind, konnte ich zeigen; vermutlich gilt dies für alle Jahres-

¹ Vergl. M. C. ENGELL, Meteorol. Zeitschr. 1903, S. 274. Völlig lässt sich seine Darstellung, die sich auf die Gegend der Discobucht bezieht, nicht auf das von mir hier behandelte Gebiet anwenden.

zeiten. Dass auch die obere Luftströmung überwiegend östlich ist, hat DE QUERVAIN nachgewiesen.

Um aber diese Fragen weiter zu verfolgen, sind in dieser Gegend eingehende meteorologische Forschungen, auch bis zu den oberen Luftschichten ausgedehnt, unbedingt notwendig.

Gehen wir nun zu dem Klima während der Eiszeit und am Ende derselben über, so sind wohl jetzt die meisten darüber einig, dass diese Periode durch eine bedeutende Temperaturerniedrigung eingeleitet wurde. Es gibt freilich an einem jetzigen Inlandeise, an der Südspitze Grönlands, ein Teilgebiet, dessen Klima dem jetzigen Nordskandinaviens, also demjenigen einer Gegend, die einst die Nordwestecke des nordeuropäischen Binneneises bildete, etwas ähnlich ist. Nun darf man freilich nicht den äussersten Ausläufer des grönländischen Eises mit einem Ursprungsgebiete des nordeuropäischen vergleichen, aber immerhin hat es mich auf meiner Expedition von 1909 besonders interessiert, der Frage von den Beziehungen zwischen Eis und Klima in Südgrönland näher zu treten. Zuerst zeigt sich aber nun, dass der Unterschied im Klima zwischen diesen Gegenden in Wirklichkeit bedeutend grösser ist, als man es sich gewöhnlich vorstellt. Der Sommer ist eben in Südgrönland, wenn wir die äusseren Inseln an beiden Stellen vergleichen, unter Einfluss des Meereises viel kälter (Sagdliit in $60^{\circ} 15'$ n. Br. hat im Juli $3-4^{\circ}$, während die kältesten Ortschaften Norwegens etwa 9° haben (Fruholmen in $71^{\circ} 6'$ n. Br. für Aug. $9^{\circ}, 9$). Wenn wir Ivigtut (Julimittel $9^{\circ}, 8$) und Tromsø (Juli $11^{\circ}, 0$) mit einander vergleichen, ist freilich die Ähnlichkeit grösser, aber der Klimatypus ist in beiden Fällen ein ganz anderer: das Klima in Ivigtut ist kontinental, und die hohe Temperatur ist, so merkwürdig es erscheinen mag, durch das Inlandeis hervorgerufen, dessen Hochdruckgebiet das Eindringen der kühlen Meereswinde verhindert, ganz wie unter ähnlichen Verhältnissen in dem von mir erforschten Gebiete 6 Breitengrade nördlicher am Rande des Eises eine noch viel höhere Temperatur herrscht. Freilich darf man daraus nicht auf die Temperatur schliessen, die beim Fehlen des Eises hier vorliegen würde, aber wir haben keinen Grund anzunehmen, dass kontinentales Eis in Südgrönland bei dem jetzigen Klima entstehen würde, wenn einst aus irgend einem Grunde das Land von der jetzigen Eisdecke befreit würde.

Direkt können aus den Verhältnissen in der Nähe der jetzigen Landeismassen keine Schlüsse über das eiszeitliche Klima am Südrande der grossen nordeuropäischen Eismasse gezogen werden. Erstere erstrecken sich nämlich alle bis zum Meer oder seiner Nähe, während die letztere mitten in einem Kontinente endete. Dabei muss man mit so grossen Abweichungen in der gegenseitigen Lage der barischen Hoch- und Tiefdruckgebiete rechnen, dass wir, auch wenn wir über die Ursache der verschiedenen Entwicklung in Grönland und der Antarktis klar wären, ohne eine viel eingehendere Arbeit nur insofern Schlüsse ziehen dürfen, als

durch andere Untersuchungen wenigstens der allgemeine Naturcharakter bekannt ist.

Einmal entstanden, hat das Landeis in seinem Gebiete selbst die Sommertemperatur herabgedrückt, und die tiefen Temperaturen hat es mit sich nach Süden gebracht. Während des Vorrückens des Eises muss an seinem Rande ein glazial bedingtes Klima von antarktischem Typus geherrscht haben, freilich wohl nicht so kalt wie dort, aber kalt genug, um die Akkumulation grösser als die Ablation zu machen. Wir dürfen nämlich nicht annehmen, dass die Eismassen in Mittelrussland ausschliesslich aus dem Niederschlag in Skandinavien stammten, und ebensowenig, dass die damalige allgemeine Abkühlung so gross war, dass sie in solchen südlichen Gegenden ohne Verbindung mit dem dahinterliegenden Eise hätten entstehen können.

Allerdings haben in späterer Zeit mehrere Forscher die Ansicht ausgesprochen, dass ein Klima von dem hier als glazial bezeichneten Typus, mit sehr kalten Sommern, für die Eisentwicklung nicht besonders günstig wäre. Man hat sich dabei teils auf theoretische Erwägungen gestützt, teils auf einige zerstreute Beobachtungen von einer besonders mächtigen und hervortretenden Eisbedeckung auf einigen am Nordrande des antarktischen Gebietes gelegenen Inseln. Aber das antarktische Land ist jetzt genügend bekannt, um sicher sagen zu können, dass letztere Beobachtungen nicht verallgemeinert werden dürfen; die Eisbedeckung nimmt mit der niedrigeren Temperatur und den zunehmenden Meereismassen weiter nach Süden eher zu als ab, und während das Klima auf Wilkes Land stärker glazial ist als an irgend einer anderen bekannten Küste, ist auch die Vergletscherung da fast ganz vollständig. Unter solchen Umständen können auch die theoretischen Betrachtungen nicht gelten, um so weniger, da es tatsächlich unmöglich erscheint, die ehemalige starke Vergletscherung solcher rein ozeanischen Inseln wie Süd-Georgien und Kerguelen ohne eine bedeutende Erniedrigung der Jahrestemperatur zu erklären.

Es verdient in dieser Verbindung hervorgehoben zu werden, dass das Gebiet, wo, abgesehen vom nordatlantischen, die quartären Eismassen ihre grösste Verbreitung im Verhältnis zur jetzigen hatten, eben das südatlantische war. Eingehende Beobachtungen liegen in dieser Hinsicht sowohl vom Feuerlande und von Südpatagonien wie auch von Süd-Georgien und der westantarktischen Halbinsel vor, in letzterem Falle sowohl von den äusseren ozeanischen Inseln als von den relativ kontinental gelegenen Gebieten am Polarkreis, an der Westküste sowohl wie an der Ostküste; also, wie wir sehen, aus Gebieten, deren Klimatypus in der Jetztzeit recht verschieden ist. Ebenso wie im Norden war damals auch hier bis zu einer Breite von etwa 50° alles Land fast vollständig eisbedeckt. Jedenfalls zeigt uns dies, dass die Vergletscherung nicht durch eine Polverschiebung erklärt werden kann, aber es lassen sich vielleicht auch andere Schlussfolgerungen in Bezug auf das glaziale Klima aus diesen Tatsachen ziehen.

Beobachtungen über die Vegetation am Rande der alpinen Eismasse deuten an, dass hier während eines Teils der Eiszeit das Klima verhältnismässig mild und wohl auch feucht war. Wenn sich diese Beobachtungen auf den einen oder anderen Teil der Abschmelzungsperiode beziehen, so liegt darin nichts Eigentümliches; wir haben keinen Grund anzunehmen, dass damals hier das Klima kontinental oder sehr kalt war. Die klimatische Einwirkung dieser Gletscher war kaum sehr gross, und sie sollten die Wintertemperatur eher mildern als herunterdrücken.

Wir dürfen wohl jetzt mit G. DE GEER annehmen, dass die Abschmelzung des Eises mit einer allgemeinen Wärmeperiode, mit Veränderungen in der allgemeinen Wärmeabsorption der Erde in Verbindung stand. Es ist aber offenbar, dass während dieser Zeit wenigstens teilweise der Klimacharakter am Eisrande ein anderer als vorher war. Es liegt nahe bei der Hand, dabei an das Auftreten eines kontinentalen Klimas mit warmen, trockenen Sommern vom Typus von Grönlands Binnenland zu denken. Die Ursachen einer solchen Veränderung lassen sich kaum angeben, so lange wir nicht einmal für die Jetztzeit näheres über diesen Klimatypus kennen; als einen bedingenden Grund darf man sich vielleicht eine Änderung in dem Auftreten des Golfstroms und dabei auch in der herrschenden Richtung der Luftbewegungen denken.¹ Im Gegensatz zu dem glazialen würde ein solches Klima unter sonst günstigen Bedingungen dazu beitragen, die Eisrezession zu beschleunigen.

Nun haben wie bekannt die Geologen seit langem nachgewiesen, dass jedenfalls zeitweise während der Periode der letzten Abschmelzung am Rande des Eises und in einiger Entfernung von diesem ein kontinentales Trockenklima mit verhältnismässig warmen Sommern geherrscht hat. Auch aus Schweden liegen dieselben Beobachtungen vor; ganz wie jetzt in Grönland waren hier z. B. die Seen häufig abflusslos. Offenbar wäre es von hohem Interesse, das Auftreten dieses Klimatypus in der Jetztzeit zu studieren, aber schon jetzt darf man sagen, dass das einfache Nachweisen dieses Klimatypus in einem Eisrandgebiete das Auftreten eines recht eigentümlichen spätglazialen Landschaftstypus beleuchtet, ebenso wie ein Studium von dem hier als glazial bezeichneten Klima die Möglichkeit der riesenhaften Ausdehnung der Eiszeitgletscher bei einer verhältnismässig geringen Temperaturerniedrigung verständlicher macht.

Das Klima, das wir uns gewöhnlich als das für die Polargegenden normale denken (Spitzbergen, Westgrönland), hat vielleicht während der Eiszeit keine grosse Rolle gespielt, obschon wir wohl annehmen können,

¹ Der Golfstrom kann während der Zeit des Eisvorrückens nicht gut seine jetzige Lage und Stärke gehabt haben; man muss wohl annehmen, dass das Meer damals teilweise eisbedeckt war. Eine Veränderung in der Eisbedeckung würde an und für sich Veränderungen in der Lage der barometrischen Zentra mitführen. Wir wissen übrigens, dass während der Eiszeit Verschiebungen in der Lage der subtropischen Hochdruckgebiete eingetreten sind.

dass derartige Klimaverhältnisse zeitweise in der Nähe der atlantischen Küste geherrscht haben.

Jedenfalls können wir hoffen, dass ein näheres Studium dieser bis jetzt viel zu wenig bekannten polaren Klimatypen auch für die Geologie ein bedeutendes Interesse bieten werde.

Gedruckt 2/12 1916.

