

ner Krystalle nicht in natürliches, sondern in theilweis circulares Licht umgewandelt wurde.

Der Grund dieser Verschiedenheiten dürfte der seyn, dafs bei dem rotirenden Nicol in der That lauter Strahlen von gleicher Intensität nach jedem Azimuth austreten, die gewissermassen unabhängig von einander sind, also auch nicht zu circularem oder elliptischem Licht Veranlassung geben können, während beim Durchgang von circularem Licht durch die kleinen Krystalle, die beiden senkrecht zu einander polarisirten Strahlen, in die das circulare Licht zerlegt wird, sich wieder vereinigen, sey es zu circularem, elliptischem oder linearem. Diefs wird jedesmal von der Verzögerung, die die beiden Strahlen gegeneinander beim Durchgang durch einen kleinen Krystall erleiden, abhängen, da aber diese Krystalle sehr klein sind, so wird diese Verzögerung verschwindend seyn; die meisten senkrecht zu einander polarisirten Strahlenpaare werden also ihren alten Phasenunterschied behalten, also zusammen wieder circulares Licht geben, aus dem sie entstanden sind. Wenn mithin auch einzelne Strahlenpaare in elliptisches oder geradliniges Licht übergehen, so werden doch die meisten circular bleiben, und folglich wird die Gesamtintensität des aus der depolarisirenden Platte austretenden Lichtes nicht natürliches, sondern theilweis circular polarisirtes Licht seyn.

II. *Ueber die physikalische Ursache der Eiszeit;* *von Dr. E. Frankland,*

Professor der Chemie an der *Royal Institution* von Großbritannien
(Von Hrn. Verf. übersandt).

Unter den Umständen, welche von mächtigem Einflufs auf die physikalische Beschaffenheit unserer Erde waren, hat die ihrer Gröfse nach fast unbegreifliche Wirkung alter Gletscher sich allmählich, aber unwiderstehlich dem Blicke

der Naturforscher aufgedrängt, seit Venetz ¹⁾ und Esmark ²⁾ zuerst auf sie aufmerksam machten. Es giebt wenig hochgelegene Gegenden in irgend einem Theile der Welt, welche nicht unzweifelhafte Beweise von dem so charakteristischen Abschleifen und Poliren durch Eismassen darbieten, obwohl sie gegenwärtig vielleicht kaum vom Winterschnee betroffen werden. In unserem eigenen Lande haben die Untersuchungen von Buckland und besonders von Ramsay deutlich gezeigt, daß die schottischen Hochlande, die Berge von *Wales* und *Cumberland* und die Kalkfelsen (*Limestone crags*) von *Yorkshire* überreich sind an diesen »*roches moutonnés*«, welche keinen Zweifel lassen, daß die Thäler dieser Bergketten einst ausgefüllt waren mit Gletschern, an Gröfse nicht übertroffen, wenn gar erreicht, von denen, die heut zu Tage an den Seiten ihrer gigantischen Schweizer Nebenhüher herabhängen. Diefes ewige Eis einer früheren Zeit war auch nicht auf Gegenden beschränkt, wo dasselbe jetzt nicht gesehen wird, sondern zahlreiche Beobachtungen haben festgestellt, daß die Gletscher der Gegenwart, in der Schweiz, in Norwegen und anderswo, nur die eingetrockneten Bäche alter Eisströme von ungeheurer Gröfse sind. Diese Gletscher haben die Alpenthäler, welche sie einst in Besitz hatten, abgenagt, haben die »*Lochs*« und »*Kyles*« von Schottland, so wie die größeren *Fjorde* von Norwegen ausgegraben und dadurch wesentlich zum gegenwärtigen Ansehen unserer Berg-Landschaften beigetragen. Ramsay ³⁾ und Tyndall ⁴⁾ haben neuerlich auf diese Wirkung alter Gletscher aufmerksam gemacht und mit beträchtlicher Wahrscheinlichkeit behauptet, der erstere, daß die Seebecken, der letztere, daß die Alpenthäler, in solcher Weise größtentheils ausgehöhlt worden seyen. In keinem Theile der Welt vielleicht können die Phänomene der Eis-

1) Denkschriften d. Allgm. Schweiz. Gesellsch. 1833 Bd. I, Abth. II.

2) Edinburgh, *New Philosoph. Journal* 1827, Vol. III.

3) *Quart. Journ. of the Geolog. Soc.* Aug. 1862.

4) *Philos. Transact. f.* 1857 et 1858; auch *Phil. Magazine, Ser. IV, Vol. XV, XVI, et XVII.*

zeit vortheilhafter studirt werden als in Norwegen, wo die eisnarbigen Küsten und Fjorde noch vollständig dem Auge des Beobachters bloßgelegt sind, zur Seite des Oceans, welcher das einst sie bedeckende krystallinische Material hergegeben hat. Die 2000 (engl.) Meilen lange Küste von Christiania nach dem Nordkap liefert fast ununterbrochene Zeugnisse von den ungeheueren Operationen des Eises, welche in der erwähnten Zeit beinahe alle Gestaltungen dieses merkwürdigen Landes modellirten.

In dieser Beziehung hat Norwegen schon Esmark und L. v. Buch angeregt, besonders James Forbes, dessen zahlreiche Forschungen und scharfe philosophische Schlüsse am meisten zur Erweiterung unserer Kenntnisse der physikalischen Erscheinungen Scandinaviens beigetragen haben. Dem Prof. Forbes verdanke ich viele in dem Folgenden benutzten Data. Es war auch bei einem Aufenthalt in Norwegen im letzten Sommer, daß ich rücksichtlich der physischen Ursache der Eiszeit die Eindrücke empfang, welche den Gegenstand dieses Aufsatzes ausmachen.

Von Christiania ausgehend, kann der Reisende nicht verfehlen, das sonderbare Ansehen der Gneis- und Granitfelsen zu bemerken, aus denen die Küste und die zahllosen Inseln bestehen, welche, als ein großes natürliches Wehr, die Küste vor den Wogen des atlantischen Oceans schützen. Diese Felsen, hier selten bis zu 800 oder 900 Fufs aufsteigend, zeigen nichts von jenen scharfen und rauhen Umrisen, welche insgemein solche Formationen charakterisiren. Im Gegentheil sind sie bis zu ihren Gipfeln geglättet, an allen Ecken abgenutzt, und jeder Spur von Kühnheit und Schroffheit beraubt. Der zufällige und ununterrichtete Beobachter wird die Wirkung des Meeres für eine hinreichende Ursache dieser Erscheinungen halten; allein es bedarf keiner großen Forschung um überzeugt zu werden, daß die Wellen des Oceans wenig mit diesem Glätten und Poliren der Küste zu thun hatten. Vernöge ihrer Verschiedenheit in Structur und chemischer Zusammensetzung erfahren die Gneis- und Granitmassen eine un-

gleiche Wirkung von dem Wasser. Dieses löst und zertheilt die löslicheren und bröcklichen Theile und erzeugt statt der Glätte und verhältnißmäßigen Politur, welche die Küste darbietet, je nach Umständen eine zellige oder rissige Oberfläche. Solch eine Verwitterung der Felsen kann in der That an vielen Orten deutlich gesehen werden und zwar oben auf der Politur, welche von der früheren Wirkung bewegter Eismassen herrührt. Kurz es kann als allgemeiner Satz aufgestellt werden, daß die Wirkung des Meeres und des Wetters auf die Felsen eine runzliche, unregelmäßige und besonders eine rissige Oberfläche erzeugt, während die des Gletschereises ein abgerundetes, verhältnißmäßig glattes und gleichförmiges Ansehen derselben hervorbringt. Bedürfte es fernerer Beweise, daß die Oberfläche der Norwegischen Küstenfelsen einen ausschließlich eisigen Ursprung hat, so ergeben sie sich erstens aus dem häufigen Vorkommen jener Schrammen und feinen Ritze, welche so unwiderleglich die früher das Bett eines Gletschers bildenden Felsflächen charakterisiren, und zweitens aus dem Umstand, daß in der Regel die glättende Wirkung offenbar vom Lande hergekommen ist. Alle gegen das Land geneigten Flächen sind, soweit ich gesehen, beständig abgerundet und polirt, während an einigen Orten, wo der Fels jählings gegen das Meer abfällt, er gegen die abreibende Wirkung geschützt worden ist und nur eine verwitterte Oberfläche zeigt.

Geht man um das Vorgebirge Naze herum weiter nach Norden, so zeigt die Küste, mit wenigen Ausnahmen, dasselbe allgemeine Ansehen, bis zum Polarkreis, wo sich der Charakter derselben ziemlich plötzlich ändert. Die felsigen Hügel erlangen die Bedeutung von Bergen, und steigen auf in schroffen, scharfen und phantastischen Pics, welche gegen die runden Gipfel der niederen Breiten stark abstachen. Allein diese arctischen Pics verdanken ihre Verschönerung von der abschabenden Wirkung des Eises bloß ihrer Höhe; denn ringsum an ihrem Fulse, und selbst hoch hinauf an ihren Abhängen haben die trägen Wogen des

sich bewegenden Eismeeress ihre unverkennbaren Spuren hinterlassen, sie abgeschliffen und selbst unterhöhlt in den ungewöhnlichsten Formen, von denen nur die *Sieben Schwestern* und *Torghatten*, mit seinem sonderbaren Tunnel, eben südlich vom Polarkreis, als schöne Beispiele genannt seyn mögen, ferner der *Hästman*, gerade auf diesem Kreise, und die Berge von *Folden* und *Vestfjords*, nördlich desselben; die letzteren sind von R. Everest treffend, als ähnlich dem Rachen eines ungeheuren Haifisches beschrieben.

Es ist wichtig, die Richtung der Furchen auf diesen *roches moutonnés* zu bestimmen. Soweit meine eigenen Beobachtungen reichen, bestätigen sie die Angabe von Hrn. Siljeström, daß die abschabende Wirkung gewöhnlich in einer Nordwest-Richtung geht, d. h. vom Lande zum Meere. In Fällen, wo eine Abweichung von dieser allgemeinen Richtung da war, zeigte sich ihm eine hinlängliche Ursache dazu, z. B. die Einnündung eines Fjordes oder das Auftreten eines Hindernisses seawärts. Ich konnte daher nicht dem Schlusse widerstehen, daß die Eismassen, welche die Furchen verursachten, sich an den Berg-Abhängen herunter in das Meer bewegten und nicht als schwimmende Massen aus den Polarregionen an die Küste kamen. Ich darf indess nicht unterlassen zu bemerken, daß Forbes einer anderen Meinung über diesen Punkt zuneigt. Er sagt ¹⁾, »Ueber die Richtung der Furchen kann ich mich nicht aussprechen, da ich nicht landen konnte, um sie zu untersuchen. Es schien mir jedoch, daß, wenigstens an der Küste, die Richtung der Reibung, wie sie durch die *Stofs-* und *Leeseite* bezeichnet ist, *parallel* der Küste, von Norden nach Süden ging.

Dies mag für die Küste richtig seyn, allein die Durchforschung mehrerer der Fjorde überzeugte mich, daß die alten Gletscher ihren Gang auf dem nächst thunlichen Wege von den Sammelbecken der Berge nach dem Meere nahmen. *Hardanger-*, *Romsdal-*, *Trondhjem-*, *Namsen-* und *Salten-Fjord* zeigen überall die unverkennbarsten

1) *Norway and its glaciers* p. 46.

Beweise, daß sie einst ausgefüllt waren mit ungeheuren Gletschern, denen sie in der That zweifellos hauptsächlich ihr Daseyn verdanken. Der *Hardanger-Fjord* mit seinen neueren Gletschern, welche von dem *Firn* des *Folge Fond* herunterstreichen, ist ein prachtvolles Beispiel vom Canal eines alten Eisstromes. Wo seine felsigen Ufer entblößt sind, da sind sie auch versehen mit den charakteristischen Furchen, deren Lage und anderseits deren Abwesenheit auf den jählings zur Mündung des Fjordes geneigten Abhängen deutlich die Richtung verkünden, in welcher die alten Gletscher sich bewegten. Im *Romsdal-Fjord*, an der Spitze desselben, ist die frühere Eiswirkung vielleicht noch schlagender dargethan, weil sie sich dichter um den Reisenden concentrirt. Soweit das Auge an den steilen Wänden dieses großen Hohlweges hinaufreicht, sind die Felsen gefurcht und geglättet durch die Wirkung des bewegten Eises; und ungeheure Gneisblöcke, die jetzt am Boden der Schlucht liegen, einst aber auf den Gipfeln der Abhänge gelegen haben müssen, zeigen durch die abgeriebene und gefurchte Beschaffenheit ihrer früher entblößten Seiten, daß entweder diese Schlucht einst vollständig mit Eis ausgefüllt, oder durch einen Gletscher von mäfsigerer Dicke allmählich ausgehöhlt ward.

Es war natürlich, daß diese gehäuften Beweise eines früheren Zustandes der Erdoberfläche, der von dem gegenwärtigen so sehr verschieden ist, mannigfache Hypothesen hervorriefen, um einen Wärmezustand zu erklären, welcher Landstriche, die jetzt häufig fette Wiesen und üppige Kornfelder darbieten, von solchen ungeheuren Eismassen bedecken liefs. Fourier (Poisson) nahm an, daß die Temperatur des Himmelsraumes nicht gleichförmig sey, und daß unser Sonnensystem in Folge der ihm zugeschriebenen eigenen Bewegung unter den Sternen zuweilen durch Regionen gehe, die kälter als andere seyen. Gemäfs dieser Hypothese trat die Eiszeit ein, als das Sonnensystem einen verhältnißmäfsig kalten Raum des Himmels durchwanderte. Andere haben gedacht, daß die von der Sonne ausgesandte

Wärme eine Veränderung erleide, und dafs jener Zeitraum aus einer so zu sagen kalten Sonnenperiode hervorgegangen sey. Hr. W. Hopkins glaubt, dafs eine verschiedene Vertheilung von Land und Wasser, und besonders eine verschiedene Richtung der von den Tropen nach den Polarregionen gehenden Ströme warmen Wassers das Klima gewisser Gegenden kälter als jetzt machten und somit eine hinlängliche Erklärung der Phänomene der Eiszeit liefern. Endlich meint Prof. Kämtz ¹⁾, dafs in der Eiszeit die Berge weit höher als jetzt gewesen seyen, der *Mont-Blanc* z. B. eine Höhe von 20000 Fufs erreicht habe, indem die secundären und tertiären Formationen während der Eiszeit von ihren Gipfeln fortgerissen worden.

Die beiden letzten Annahmen sind mit furchtbaren geologischen Schwierigkeiten verknüpft, besonders wenn man erwägt, dafs die Phänomene des besagten Zeitraumes sich über die ganze Oberfläche der Erde erstreckten; sie haben daher niemals eine mehr als theilweise Aufnahme gefunden. Von den beiden ersten Hypothesen hat überdies Tyndall neuerlich gezeigt, dafs sie auf einer ganz irrthümlichen Ansicht von den nothwendigen Bedingungen zu den zu erklärenden Erscheinungen beruhen. Die Bildung der Gletscher ist nämlich ein wahrer Destillationsprocefs, der, um zu Stande zu kommen, sowohl Wärme als Kälte erfordert. Das Product einer Destillation würde durch eine absolute Temperatur-Erniedrigung verringert, nicht vermehrt werden. Um die Operation zu gröfserer Thätigkeit anzuregen, ist eine gröfsere Temperatur-Differentiation erforderlich. Prof. Tyndall supponirt keine Ursache für eine solche erhöhte Differentiation während der Eiszeit; allein er zeigt bündig, dafs beide Hypothesen, abgesehen davon, dafs sie gar nicht von kosmischen Thatsachen unterstützt werden, nicht allein unfähig sind eine solche Ursache festzustellen, sondern auch einen Zustand der Dinge voraussetzen, welcher die Gletscher an ihrer Quelle vernichten würde, da die Verdampfung, von welcher ihr Da-

1) Mittheilungen der geograph. Gesellschaft zu Dorpat Bd. II.

seyn wesentlich abhängt, verringert wäre. Nur durch einen größeren Temperatur-Unterschied zwischen Land und Meer ist eine Zunahme der Eiswirkung möglich; und diese Hypothesen sind verfehlt, in sofern sie die Nothwendigkeit einer Erhöhung des Temperatur-Unterschiedes gänzlich ignoriren.

Dies erhellt aus einer Betrachtung der Functionen der drei wesentlichen Theile des großen natürlichen Eis-Apparates, nämlich des Evaporators, des Condensators und des Recipienten. Die Rolle des Oceans als Evaporator ist zu einleuchtend, um einer Beschreibung zu bedürfen. Die beiden anderen Theile des Apparates sind jedoch gewöhnlich mit einander verwechselt worden. Die Berge sind wirklich die Recipienten oder *Eisträger*, und nur in untergeordnetem Sinne Condensatoren. Der wahre Condensator ist die trockene Luft der oberen Regionen der Atmosphäre, welche die Wärme des Wasserdampfs, der nach Tyndall's neueren Untersuchungen ein außerordentliches Strahlungs- und Absorptions-Vermögen besitzt, eine freie Ausstrahlung in den Himmelsraum gestattet ¹⁾. Tyndall hat gezeigt, daß der Wasserdampf an der oberen Fläche einer ganz oder bei-

1) Ich habe ein einfaches Verfahren erdacht, die Ausstrahlung des Wasserdampfs experimentell so zu erweisen, daß viele Personen auf einmal den Effect sehen können. Ein Holzkohlenöfchen, 14 Zoll hoch und 6 Zoll im Durchmesser, wird vor einer Thermosäule aufgestellt, aber zwei Fuß von ihm entfernt, und die Strahlung des Oefchens und der Kohlen wird durch einen doppelten Metallschirm von der Säule abgehalten. Nachdem die durch die Ausstrahlung der aufsteigenden und erhitzten Kohlensäure bewirkte Ablenkung des Galvanometers sorgfältig mittelst der Strahlung einer constanten Wärmequelle auf die andere Seite der Säule neutralisirt worden, läßt man einen Dampfstrom durch ein lothrecht den Ofen durchsetzendes Eisenrohr aufsteigen. Augenblicklich weicht das Galvanometer viel stärker ab als vor der Compensation wo es der vollen Ausstrahlung der erhitzten Luft und Kohlensäure ausgesetzt war. Bei Unterbrechung des Dampfstroms kehrt die Nadel sogleich auf Null zurück. Wenn nun statt des Dampfes ein Luftstrom durch das Rohr getrieben wird, erfolgt entweder gar keine Ablenkung oder eine schwache in entgegengesetzter Richtung. Die Höhe des Ofens verhindert die Condensation des Dampfes vollständig.

nahe mit Feuchtigkeit gesättigten Luftschicht seine Wärme rasch in den Himmelsraum ausstrahlen, und sich je nach der Temperatur der umgebenden Atmosphäre zu Regen oder Schnee verdichten muß, da die trockene Luft fast ganz machtlos ist, diese Ausstrahlung zu hemmen. So wird denn die ungeheuere Wärmemenge, welche sich bei der Condensation von Wasserdampf entwickelt fortgeschafft, ohne die Temperatur des Mediums, in welchem die Operation vor sich geht, merklich zu erhöhen. Dafs dieser Condensationsproceß höchst thätig und wichtig bei meteorologischen Erscheinungen seyn muß, kann schwerlich bezweifelt werden, wenn man erwägt, dafs der große Zuwachs an Wärme, den die umgebende Atmosphäre erlangte, sobald eine Condensation zu Wasser aus irgend einer anderen Ursache erfolgte, der ferneren Ablagerung von Feuchtigkeit unter solchen Umständen bald Einhalt thun müßte. So würde die Condensation eines Kubikfusses Wasser von 40° F. aus Wasserdampf von 32° F. die Temperatur von 352053 Kubikfuß Luft um 10° erhöhen. Ein solcher ungeheure Wärmezuwachs, wo Condensation ohne Radiation stattfindet, würde unfehlbar den Proceß schnell abbrechen.

Der Condensator ist also ein Apparat ganz verschieden von dem Eisträger, welcher letzterer in der That bei der gewöhnlichen Destillation die Stelle des Recipienten einnimmt; und solange also die Temperatur der Eisträger, nebst der der umgebenden Luft, sich nicht über 0° C. erhebt, bleiben ihre Functionen unangetastet. Alles Uebrige gleich, wird ein Eisträger von 0° C schwerlich in Wirksamkeit durch einen von -15° C. übertroffen. Allein man muß bedenken, dafs die actuelle Wirksamkeit eines Eisträgers, nach jährlichem Durchschnitt, abhängt von der Länge der Zeit, während welcher seine Temperatur nicht über den Frostpunkt steigt. Daher sind denn diejenigen Berge, welche am weitesten in die zunehmend kalten Höhen der Atmosphäre hineinreichen die wirksamsten, — nicht weil ihre Temperatur zuweilen tief unter dem Frostpunkt liegt,

sondern weil sie einen größeren Theil des Jahres hindurch eine unter diesem Punkt liegende Temperatur besitzen.

Diese Betrachtungen führen zu dem Schluss, dafs, vorausgesetzt die Versorgung der Atmosphäre mit Wasserdampf bleibe constant, eine vergrößerte Condensation nur entstehen kann durch eine erhöhte Leichtigkeit der Wärmestrahlung jenes Wasserdampfs in den Himmelsraum, — eine Bedingung welche kosmische Veränderungen einschließt, von denen wir nicht die geringsten Beweise haben. Da andererseits die Kräfte des ausstrahlenden Condensators im gegenwärtigen Moment bei weitem nicht auf höchste angeschlagen sind, so würde eine reichlichere Versorgung der Atmosphäre mit Wasserdampf zugleich eine entsprechende Verstärkung der Condensation bewirken. Solch eine reichlichere Versorgung mit Wasserdampf, einen bedeutenden Zeitraum hindurch, könnte nur aus der Verbindung einer größeren Wärmemenge mit den Gewässern des Oceans hervorgehen. Allein alle bisher zur Erklärung der Eiszeit aufgestellten Hypothesen haben in der Erkennung dieser Seite des Problems gefehlt, in sofern sie alle annehmen dafs Kälte allein nothwendig war zur Entwicklung der Phänomene jener Zeit. Dieser wichtige Mangel mufs mir zur Entschuldigung dienen bei der Aufstellung einer neuen Hypothese, welche nothwendig in gewisser Hinsicht auf noch unvollkommen ermittelten Daten beruht, und welche sich mir allmählich aufdrang aus den Eindrücken, die ich während meiner neuerlichen Reise in Norwegen empfing. Jede solche Theorie mufs Kenntniß nehmen von folgenden Punkten in der Geschichte der Eiszeit. Erstens: dafs die Wirkungen auf der ganzen Erde verspürt wurden. Zweitens: dafs sie erfolgten oder wenigstens endigten in einer verhältnißmäfsig neuen geologischen Periode. Drittens: dafs ihnen eine Periode von unbestimmter Dauer voranging, in welcher die Eisthätigkeit entweder ganz fehlte oder wenigstens auf Regionen von bedeutender Höhe beschränkt war. Viertens: dafs während ihrer Andauer der atmosphärische Niederschlag viel größer war, und zu einer Periode

die Schneelinie bedeutend tiefer lag als gegenwärtig. Fünftens: dafs ihr eine Periode folgte, die sich bis in die jetzige Zeit ausdehnte, worin die Eiswirkung wiederum sehr unbedeutend ward.

Alle diese Umstände würden die natürlichen Folgen einer allmählichen Erkaltung des Oceans von einer höheren Temperatur zu seiner jetzigen seyn. *Die einzige Ursache der Erscheinungen der Eiszeit war eine Temperatur des Oceans höher als seine jetzige.*

Die Hypothese beruht hauptsächlich auf den folgenden zwei Sätzen:

1. Dafs eine höhere Temperatur des Oceans zu einer stärkeren Verdampfung und folglich zu einem gröfseren atmosphärischen Niederschlag Anlaß geben würde.

2. Dafs dieser vermehrte atmosphärische Niederschlag die mittlere Tiefe des bleibenden Schnees auf den Eisträgern vergrößern, und innerhalb gewisser Gränzen, die Schneelinie herabdrücken würde.

Untersuchen wir diese Sätze im Detail. Allgemein genommen ist der erste eine unbestreitbare Wahrheit, und es ist daher nur nöthig zu untersuchen, wie weit die Verdampfung des Oceans solchergestalt afficirt werden würde. Die Gröfse der Verdampfung des Wassers bei verschiedenen Temperaturen und unter verschiedenen Umständen wurde von Dalton bestimmt, dessen Resultate in folgender Tafel aufgeführt sind. Die Verdampfung erfolgte jedesmal aus einer kreisrunden Fläche von 6 Zoll im Durchmesser.

Temp. F.	Verdampfung in der Minute		
	bei VVindstille	bei sanftem VVind	bei starkem VVind
85°	4,92 Gran	6,49 Gran	8,04 Gran
75	3,65	4,68	5,72
65	2,62	3,37	4,12
55	1,90	2,43	2,98
45	1,36	1,75	2,13
35	0,95	1,22	1,49

Wir haben keine hinreichenden Data zur Berechnung der gegenwärtigen Mitteltemperatur des Oceans; allein unter $69^{\circ} 40'$ N. Br. an der Küste von Norwegen, Mittags an einem merkwürdig heissem Sommertage fand Forbes die Temperatur an der Oberfläche $= 46^{\circ},5$ F. Die Annahme von 40° F. als Mitteltemperatur an der Küste von Norwegen wird daher wahrscheinlich über der Wahrheit liegen. Nehmen wir nun das Mittel aus den von Dalton bei 35° und 45° erhaltenen Resultaten, so würde die Verdampfung aus einer kreisrunden Fläche von 6 Zoll Durchmesser bei 40° seyn:

Bei Windstille.	Bei sanft. Wind.	Bei stark. Wind.	Mittel.
1 ^{gr} ,15	1 ^{gr} ,48	1 ^{gr} ,81	1 ^{gr} ,48

und bei 60° nach dem Mittel der Dalton'schen Resultate bei 55° und 65° :

2 ^{gr} ,26	2 ^{gr} ,90	3 ^{gr} ,55	2 ^{gr} ,90.
---------------------	---------------------	---------------------	----------------------

Diese absoluten Zahlen wurden mit trockener Luft erhalten und können daher nicht betrachtet werden als Repräsentanten der *wirklichen* Verdampfung aus einer Wassersfläche wie die des Oceans, welche mit Luft von stets wechselnder hygrometischer Beschaffenheit in Berührung ist. Ich behaupte nur, sie repräsentiren unter ähnlichen Verhältnissen in beiden Fällen die *relative* nicht die absolute Verdampfung aus einer gegebenen Fläche des Oceans; und, wenn das zugegeben wird, so folgt, daß eine Erwärmung des Oceans an der norwegischen Küste von 20° F. über seine gegenwärtige Temperatur die Verdampfung aus einer gegebenen Fläche verdoppeln würde. Eine solche verstärkte Verdampfung, begleitet wie es nothwendig seyn muß von einem entsprechenden Niederschlag, würde genügen die Fjorde mit Eis zu füllen und die Westküsten jenes Landes mit demselben zu bedecken, sobald nur die Eisträger sich in einem hinlänglich wirksamen Zustand befänden. Allein, würde nicht die erhöhte Temperatur des Oceans bestrebt seyn, die Mitteltemperatur der Atmosphäre selbst in beträchtlichen Höhen zu steigern, und somit die

Schneelinie zu heben und das Areal des ewigen Schnees zu verringern?

Die Antwort auf diese Frage ist in dem zweiten der obigen Sätze enthalten. Dafs die Gränze des ewigen Schnees nicht alleinig von der Mitteltemperatur der Atmosphäre an dem betreffenden Orte abhängt, beweist die sehr verschiedene Mitteltemperatur der Schneelinie an verschiedenen Orten. So ist sie unter dem Aequator ungefähr 35° , in den Alpen und Pyrenäen 25° und nach L. v. Buch unter 63° N. Br. in Norwegen nur 21° ¹⁾). Diese Zahlen sind sehr lehrreich. Warum steigt die Mitteltemperatur der Schneelinie mit Annäherung an den Aequator? Die Antwort auf diese Frage gab bereits Hr. Hopkins in seinem bewundernswerthen Aufsatz über den Einfluß der inneren Wärme auf das frühere Klima der Erde ²⁾). Er nimmt an, dafs die niedrige Schneelinie unter den Tropen von einer gleichförmigeren Temperatur und einer gröfseren Feuchtigkeit der Atmosphäre herrühre. Die Regenströme welche unter den Tropen herabfallen, übertreffen bei weitem die Niederschläge in den gemäfsigten und den kalten Zonen; und ohne Zweifel sind die Schneefälle auf den intertropischen Bergen verhältnifsmäfsig grofs. Der wichtige Einfluß, welchen die Gröfse der Niederschläge allein auf die untere Gränze des ewigen Schnees ausübt, zeigt sich auffallend an dem schönen Wasserfall von *Tysse Strenger* am Ende des *Hardanger-Fjord*, und wurde zuerst von Hrn. M. Williams bemerkt ³⁾). Der im Winter gefrierende Schaum dieses Falls bedeckt das Thal auf beinahe eine halbe (engl.) Meile mit einer so dicken Schnee- und Eisschicht, dafs sie der Schmelzung der sommerlichen Sonnenstrahlen widersteht. Ich selbst habe im *Sör-Fjord* zu Anfangs des verflossenen Augusts unter ähnlichen abnormen Umständen eine Schneemasse 10 Fufs über dem Niveau des Meeres liegen gesehen, obwohl die normale

1) Humboldt, Kosmos. Bd. I S. 9. — Forbes, *Norway etc.* p. 209.

2) *Geological Societys Journ.* Vol. VIII, p. 78.

3) *Through Norway with a Knapsack.*

Schneelinie daselbst wenigstens eine Höhe von 4500 Fufs über diesem Niveau besitzt. Hr. Hopkins berechnet, dafs die Schneelinie am Aequator 1000 Fufs niedriger liegt als die Mittel-Linie von 32° , während sie in den Alpen und unter dem Polarkreis respective 2000 und 3500 Fufs höher liegt als die Linie von 32° . Durch die oben erwähnten Einflüsse wird also die Schneelinie am Aequator nicht weniger als 4500 Fufs unter ihre thermische Lage am Polarkreis herabgebracht, und daher würde, bei aequatorialen Niederschlägen und einer gleichförmigeren Temperatur als jetzt, die Schneelinie in Norwegen am Polarkreis aus ihrer gegenwärtigen Lage von 3000 bis 4000 Fufs über dem Ocean bis zum Spiegel desselben herabsinken. Diese wesentliche Abhängigkeit der Höhe der Schneelinie von der Gröfse des Niederschlags und der Gleichförmigkeit der Temperatur wird auch bestätigt durch ihre relative Höhe an der Küste und im Innern der skandinavischen Halbinsel, wie sie Forbes in der folgenden Tafel giebt, theils nach seinen eigenen Beobachtungen, theils nach denen von L. v. Buch, Naumann und Anderen ¹⁾).

Breite	Höhe der Schneelinie, in Fufs.		
	Im Innern	An der Küste	Unterschied
60°	5500	4450	1050
62	5200	4150	1050
64	4200	3650	550
66	3700	3250	450
68	3450	3000	450
70	3350	2900	450

Der Unterschied zwischen der Höhe der Schneelinie nahe an der Küste, wo in Folge des Golfstromes der Winter milde, aber der atmosphärische Niederschlag groß ist, und der im Innern, wo das Klima ein extremes und die Luft verhältnißmäfsig trocken ist, beläuft sich also in einigen Fällen auf ganze 1050 Fufs oder nahe ein Viertel der gesammten Höhe. Im Zusammenhang mit dieser Herabdrückung der Schneelinie, darf auch nicht vergessen wer-

1) *Norway and its glaciers*, p. 214.

den, daß reichlicher Niederschlag ganz unverträglich ist mit großer Sommerhitze. Der unaufhörlich bedeckte Himmel fängt die Sonnenstrahlen auf und mäßigt die Sommertemperatur. Es ist eine alte Erfahrung, daß ein nasser Sommer immer ein kalter ist.

Während also eine Steigerung der oceanischen Wärme die mittlere Temperatur der Gränze des ewigen Schnees zu erhöhen sucht, würde dennoch, innerhalb gewisser Gränzen, eine Herabdrückung der Schneelinie selbst stattfinden und zwar wegen der oben erwähnten Neben-Umstände, nämlich 1) wegen vermehrten Niederschlags, welcher während der Wintermonate eine solche Anhäufung von Schnee veranlassen würde, daß er der Schmelzung durch die Wärme des darauf folgenden Sommers widerstände, und 2) wegen Verringerung der Sommertemperatur in Folge der Auffangung der Sonnenstrahlen durch den bedeckten Himmel. Es leuchtet indessen ein, daß diese Erniedrigung der Schneelinie durch Erhöhung der oceanischen Temperatur nur innerhalb gewisser Gränzen stattfinden würde; denn wiewohl die mittlere Temperatur der Schneelinie von 21° (ihrer gegenwärtigen Lage in Norwegen) zu 35° (ihrer Höhe unter dem Aequator) und vielleicht noch höher steigt, ohne eine Erhöhung der Schneelinie selbst, würde doch eine fernere Steigerung der Mitteltemperatur, die aus einer fortdauernden Vergrößerung der oceanischen Wärme entstünde, nicht verfehlen, die Schneelinie selbst zu heben und möglicherweise die letzten Portionen Schnee von den höchsten Bergspitzen zu vertreiben. Ein umgekehrter Proceß hat, wie ich glaube, in der Natur stattgefunden und allmählich den gegenwärtigen meteorologischen Zustand unserer Erdkugel herbeigeführt. Der Ocean besaß einst eine Temperatur so hoch, daß die Schneelinie über den Gipfeln möglicherweise selbst der höchsten Berge schwebte; allein mit der Abnahme der oceanischen Wärme sank sie allmählich, hüllte einen Pic nach dem andern mit einem immerwährenden Mantel ein, bis sie während der strengsten Periode der Eiszeit ihre tiefste Lage erreichte, von wo sie wiederum in ihre gegenwärtige emporstieg, vermöge der verringerten Verdamp-

pfung, deren Effect das Heben, der Linie des ewigen Schnees, schon erklärt worden ist.

Nachdem ich mich sonach bemüht habe zu zeigen, daß alle Erscheinungen der Eiszeit sich folgerecht aus der allmählichen Erkaltung des Oceans von einer höheren Temperatur bis auf seine jetzige entwickeln lassen, erübrigt mir noch eine Ursache für solche höhere Temperatur des Oceans anzugeben, und gewisse gegen diese Hypothese vorgebrachte geologische und paläontologische Einwürfe zu beseitigen.

Zuerst mag in Betreff der Ursache der vorausgesetzten höheren Temperatur als ein unumstößlicher Satz bemerkt seyn, daß die Wärme entweder von aussen, von einer kosmischen Quelle, oder von innen, d. h. von einem säcularen Ursprung herkommen muß. Von kosmischen Quellen der Veränderung der terrestrischen Temperatur sind bisjetzt nur zwei hingestellt und auf diese habe ich bereits angespielt. Die erste derselben, nämlich die Hypothese, daß unser Sonnensystem durch Himmelsräume ging, in welchen es eine stärkere Wärmestrahlung durch die Sterne empfing, ist bereits von Hrn. Hopkins in der schon angeführten Abhandlung ausführlich discutirt und schließlich aus astronomischen Gründen als ganz unhaltbar bezeichnet worden. Die zweite erfordert einige Beachtung, da es keineswegs unwahrscheinlich ist, daß die Sonne einst ein kräftigerer Wärme-Ausstrahler war als jetzt, obwohl die Annahme, daß dieß in bedeutendem Grade so spät als am Ende der Eiszeit der Fall gewesen seyn sollte, in hohem Maasse unwahrscheinlich ist. Man könnte zugeben, daß eine Verstärkung der Sonnenkraft die Temperatur der Meeresfläche erhöht, und die Functionen des ausstrahlenden Condensators nicht sehr gestört haben würde, indem die leuchtenden Wärmestrahlen der Sonne noch keine starke Absorption durch die Wasserdämpfe erlitten. Allein sie würde ohne Zweifel die Wirksamkeit der Eisträger sehr geschwächt haben, da deren kräftig absorbirende Oberflächen unter der erhöhten Sonnenstrahlung weniger fähig

gewesen wären, die nothwendige niedere Temperatur zu unterhalten. Glücklicherweise hat man jedoch nicht nöthig, sich hier auf Conjecturen einzulassen, denn der Beweis liegt in den comparativen Effecten der Sonnenstrahlung auf die Eisphänomene in den verschiedenen Zonen der Erde beständig vor uns. Die Sonnenstrahlung unter den Tropen ist, verglichen mit der in den gemäßigten und kalten Zonen, eine verstärkte, aber diese Verstärkung bringt keine Eiszeit in der heißen Zone hervor; im Gegentheil, obwohl, wie oben gesagt, die Schneelinie herabgedrückt ist in Bezug auf die Linie von 32° , sind doch beide Linien unwiderstehlich zu den Bergen hinaufgetrieben.

Keine kosmische Wärmequelle ist also im Stande, die Phänomene der Eiszeit zu erzeugen, und es bleibt daher nur die wohlbekannte säculare Quelle, die innere Erdwärme übrig. Das Problem des Einflusses der inneren Erdwärme auf die Temperatur der Erdoberfläche ist von Hrn. Hopkins ¹⁾ und Prof. W. Thomson ²⁾ am geschicktesten behandelt worden. Annehmend das Resultat der Poisson'schen Berechnung, daß der von der inneren Wärme herrührende Theil der jetzigen Temperatur der Erdoberfläche nur ein Zwanzigstel eines Fahrenheit'schen Grades betrage, zeigt Prof. Hopkins, daß eine Erhöhung der Oberflächentemperatur aus dieser Quelle um 10° F. eine so rasche Zunahme hinabwärts involviren würde, daß sie 200° F. in einer Tiefe von nur 60 Fuß erreichte, — ein physischer Zustand unseres Planeten, welcher, wie er bemerkt, schwerlich mit den Bedingungen des animalischen Lebens in den neueren geologischen Epochen vereinbar wäre. Nimmt man Poisson's Resultat als richtig an, so ist dieser Schluß angewandt auf die starre Oberfläche unserer Planeten wahrscheinlich unbestreitbar; allein er ist nicht nothwendig, wenn wir ihn auf das Bett des Oceans ausdehnen. In der That giebt es einige Betrachtungen in Betreff des Durch-

1) *Journ. of the Geolog. Soc. Vol. VIII p. 56* und *Phil. Trans. 1857 p. 805.*

2) *Transact. of the Roy. Soc. of Edinburgh, Vol. XXIII, p. 157.*

gangs der Wärme durch eine dicke Wasserschicht, wie die des Oceans, welche mir diese Berechnung als gänzlich unanwendbar erscheinen lassen, den ehemaligen Einfluß der inneren Wärme auf die Oberflächentemperatur des Oceans darnach zu bestimmen. Vier Umstände kommen in Betracht, wenn man versuchen will, den Wärmezustand des Oceans während der Erkaltung der Erdkruste zu erforschen. Diese sind, erstens: die Wärmeleitung des Wassers; zweitens: seine Wärmefortführung; drittens: sein Vermögen, in Klüfte oder Verrückungen, die sich von Zeit zu Zeit in dem Boden des Oceans gebildet haben könnten, einzudringen; und viertens: seine spezifische Wärme.

Was die Leitungsfähigkeit des Wassers betrifft, so zeigen die Bestimmungen von Despretz ¹⁾, daß sie, verglichen mit der Leitungsfähigkeit der soliden Erdkruste eine verschwindende Gröfse ist. Allein dieser fast gänzliche Mangel an Leitungsvermögen wird mehr als compensirt durch die Wärmefortführung. Wäre indess der Ocean frei von seülichen Strömungen, so würde selbst diese Fortführung nicht viel die Fähigkeit des Granits, Wärme nach der Oberfläche zu leiten, übertreffen; denn nehmen wir an, die mittlere Tiefe des Oceans wäre fünf (engl.) Meilen, so würden wir, selbst wenn er am Boden eine Temperatur von 100° C. und an der Oberfläche eine von 15° C. hätte, nur einen Unterschied von 0,0032° C. für jeden Fuß Erhebung haben. Wir besitzen keine Bestimmungen über die Geschwindigkeit der Wärmefortführung im Meerwasser für gegebene Temperaturdifferenzen, allein für den betrachteten kleinen Fuß-Unterschied muß sie fast undenkbar klein seyn. Defsungeachtet läßt sich kaum bezweifeln, daß die polaren und aequatorialen Ströme diese verticale Fortführung in dem Maafse unterstützen, daß im Ganzen die Wärme sehr viel rascher von dem Boden des Oceans zu seiner Oberfläche übertragen wird als in einer starren Granitschicht von gleicher Dicke. Ich habe mich bemüht, das relative Vermögen des Wassers und des Granits zu sol-

1) *Ann. de chim. et de phys. Vol. LXXI, p. 206.*

cher Fortpflanzung der Wärme roh zu bestimmen. Zu dem Ende wurde ein 6zölliger Würfel aus Granit geschnitten und ein Blechgefäß verfertigt, das einen gleichen Würfel von Wasser, bedeckt mit einer Oelschicht von $\frac{1}{16}$ Zoll Dicke zur Verhütung der Verdunstung, aufnehmen konnte. Beide Würfel wurden auf eine Eisenplatte gestellt und von unten durch eine Dampf-Atmosphäre erhitzt, während die lothrechten Seiten durch mehrere Lagen Flanell gegen Wärmeverlust geschützt waren. In die obere, der Luft ausgesetzte Fläche eines jeden wurde die Kugel eines Thermometers versenkt und die Zeit zu seinem Steigen um 10° C. aufgezeichnet. Folgendes sind die Resultate dieser Versuche:

Erforderliche Zeit, um die Temperatur der Oberfläche um 10° C. zu erhöhen:

beim Granitwürfel $1^h 10^m$

» Wasserwürfel 0 57.

Erwähnen muß ich, daß die mit der heißen Platte in Berührung stehende Fläche des Blechgefäßes mit einer Schicht Lampenrufs überzogen war, und daß die Oberflächen des Granits nur roh abgerieben, nicht geschliffen waren. In der That, alle experimentellen Bedingungen waren zu Gunsten des Durchgangs durch Wasser und dennoch stieg die Temperatur des letzteren mit nicht viel größerer Schnelligkeit als die des ersteren. Zieht man noch die specifischen Wärmen und Gewichte von Wasser und Granit in Betracht, so wird die in gleicher Zeit von der Base zur Decke eines jeden Würfels geführte Wärmemenge sich verhalten wie

Granit : Wasser = 1 : 2,36.

Ogleich diese Bestimmungen nur als rohe Approximationen der relativen Geschwindigkeiten des Wärmedurchgangs durch Granit- und Wasserschichten gegeben werden können, so zeigen sie doch, daß die Fortführung der Wärme durch Wasser keineswegs so rasch ist im Vergleich zu der durch Granit als gewöhnlich vorausgesetzt wird. Es steht nicht zu bezweifeln, daß beim Ocean die Schnelligkeit der

Fortführung durch polare und aequatoriale Ströme vergrößert werden würde; allein dennoch ist die Annahme, der Boden des Oceans hätte sich so rasch erkaltet wie wenn er der freien Luft ausgesetzt gewesen wäre, ganz unhaltbar; und ich halte es nicht allein für möglich, sondern gar für wahrscheinlich, daß die saeculare Abkühlung der Erde durch den Ocean hin bis in eine verhältnißmäßig sehr junge geologische Periode angedauert und selbst in unseren Tagen noch nicht ganz aufgehört habe.

Die größere Leichtigkeit, mit welcher somit Wärme durch Wasser fortgeführt wird, würde offenbar die Wärmenahme mit der Tiefe für eine gegebene Oberflächentemperatur viel weniger rasch machen, als es beim Granit der Fall wäre. So halte ich es für wahrscheinlich, daß die innere Erdwärme die Oberflächen-Temperatur des Oceans noch in sehr beträchtlichem Grade afficirte, lange nachdem sie aufgehört hatte, die äußere Wärme des Landes merkbar zu influenciren. Diese Annahme wird bedeutend unterstützt durch eine Betrachtung der Umstände, welche das Entweichen der Wärme aus der Oberfläche des Oceans, verglichen mit dem aus dem Lande, zu verzögern trachten. Die Leichtigkeit, mit welcher strahlende Wärme aus gleich großen Flächen von Wasser und Granit bei derselben Temperatur durch vollkommen trockne Luft entweicht, ist beinahe gleich; allein sobald Wasserdampf in die Bahn der Strahlen eindringt, werden die Umstände wunderbar verändert. Aus beiden wird das Entweichen der Wärme verringert, allein die Strahlung aus dem Wasser wird bei weitem im stärksten Grade verzögert. Diese außerordentliche Undurchdringlichkeit (*intranscalency*) des Wasserdampfs für Strahlen, die vom Wasser ausgehen, ist entscheidend nachgewiesen durch Tyndall in einem kürzlich der *Royal Society* mitgetheilten Aufsatz ¹⁾.

Mögen wir demnach in Betracht ziehen: die Diffusion der Wärme durch Wasser und Granit oder die Eigenschaft des Oceans, vermöge Dislocationen usw. Wärme aus grö-

1) *Proceedings of the Roy. Soc. Vol. XIII, p. 160.*

fseren Tiefen als sein eigener Boden fortzuführen, oder endlich die respectiven Leichtigkeiten, mit welchen unter den angeführten kosmischen Bedingungen Wasser und Granit ihre Wärme in den Himmelsraum ausstrahlen, — so finden wir überall einen Zustand der Dinge, welcher nicht nur die Wärme im Wasser länger zu bewahren, sondern auch die Zunahme der Temperatur von der Oberfläche nach unten weniger rasch zu machen sucht, als es bei der starren Erdkruste der Fall ist; und dieses gilt auch *mutatis mutandis* von der Zurückhaltung der Wärme, die von der Sonnenstrahlung her stammt. Die leuchtenden Wärmestrahlen der Sonne gehen ungehindert durch Wasserdampf und werden absorhirt sowohl durch Granit-, als durch Meeresflächen; allein einmal absorhirt, gehen diese Strahlen als dunkle Wärme von zwei verschiedenen Eigenschaften oder Vibrationsgeschwindigkeiten weiter fort. Um Tyndall's Erklärung des Phänomens zu gebrauchen, haben die Vibrationen der flüssigen Wassermolecüle eine solche Geschwindigkeit, dafs sie von denselben Molecülen im Dampfzustande am besten aufgenommen und absorhirt werden können. Allein der Granit ist eine sehr zusammengesetzte Substanz und von den Wärme-Oscillationen seiner Atome sind weniger im Einklang mit denen des Wasserdampfs; daher stören die Wärmevibrationen des Granits die Molecüle des Wasserdampfs bei ihrem Durchgang durch die Atmosphäre in geringerem Grade, und folglich werden die Granit-Strahlen weniger absorhirt.

Der Hauptprocefs, durch welchen der Ocean Wärme verlor, war demnach Verdampfung, denn diese geht, wie bekannt, von der Oberfläche des Wassers aus, bis die darüberliegende Luft mit Dampf gesättigt ist. Vermöge Diffusion steigt letzterer bis in die Nähe des trocknen Luft-Condensators, giebt daselbst seine latente Wärme ab, und verwandelt sich in Regen oder Schnee, je nach der Temperatur des Mediums, in welchem der Strahlungsprocefs stattfindet. Der einzige Wärme-Zerstreuungs-Procefs, des-

sen das Wasser am meisten fähig ist, ist also der, durch den die Eisträger mit ihren schneeigen Bürde versehen werden.

Einwürfe. — Die Hypothese, welche ich im Vorstehenden zu entwickeln bemüht war, wird, ohne ich, außer den schon erwähnten Einwürfen noch verschiedene erfahren, welche auf dem ersten Blick sehr bedenklich erscheinen, welche aber, glaube ich, diesen Charakter wenigstens zum grofsen Theil verlieren, wenn man sie näher untersucht.

1. Vielleicht der handgreiflichste dieser Einwürfe ist einer gegen meine Behauptung, dafs ein reichlicherer atmosphärischer Niederschlag eine gröfsere Anhäufung von Schnee auf den höheren Theilen des Landes veranlassen und somit die Schneelinie herabdrücken würde. Man könnte sagen, dafs wenn auch ein vermehrter atmosphärischer Niederschlag im Winter mehr Schnee ablagern, doch der entsprechende starke Regen im Sommer den Ueberschufs des niedergefallenen Schnees wieder schmelzen würde. Zur Antwort auf diesen Einwurf möchte es vielleicht hinreichend seyn, die obengegebenen Thatsachen in Betreff der comparativen Höhe der Schneelinie in benachbarten trocknen und feuchten Orten dagegenzustellen; allein es kann auch zur Erklärung dieser Thatsachen hinzugefügt werden, dafs eine verhältnifsmäfsig grofse Menge selbst von warmem Wasser zur Schmelzung von Schnee oder Eis erforderlich ist. In der That ist wohl bekannt, dafs die Wärmemenge, welche blofs zum Schmelzen derselben erfordert wird, ihre Temperatur auf 174° F. erhöhen würde, wenn keine Schmelzung einträte. Gesetzt, es würde der Niederschlag auf einen gegebenen Eisträger das ganze Jahr hindurch verdoppelt, dafs während sechs Monate dieses Jahres der vermehrte Niederschlag in Form von Schnee von 32° F. erfolgte und während der übrigen sechs Monate in Form von Regen von 50° F.; so würde, selbst unter diesen für die Eisträger offenbar so ungünstigen Umständen, sehr wenig mehr als ein Achtel des zusätzlichen Schnees von dem warmen Regen geschmolzen werden. In der That sind nahe acht Tonnen Wasser von 50° F. erforderlich, um

eine Tonne Schnee oder Eis zu schmelzen, selbst wenn sie schon in aufthauendem Zustand sind. Forbes nimmt an, dafs nicht mehr als ein Fünfzigstel des Schnees auf den Schneefeldern von Norwegen im Sommer durch Regen geschmolzen werde; während Hr. Durocher aus den Beobachtungen, die im Kloster auf dem St. Bernhard wenig *unterhalb* der Schneelinie gemacht werden, berechnet hat, dafs nicht mehr als ein Neunzigstel des jährlichen Schnees durch den Regen gelöst wird. Somit ist der Effect der Sommerregen im Schmelzen des Winterschnees verhältnifsmäfsig unbedeutend.

2. Ist es nicht aber eine nothwendige Folge dieser Hypothese, dafs der Ocean in der verhältnifsmäfsig entlegenen protozoischen Periode eine mit dem animalischen Leben unverträgliche Temperatur gehabt haben müsse? Diese Frage erhebt offenbar den bedenklichsten der gegen meine Ansicht zu machenden Einwürfe; dafsungeachtet giebt es mehrere Betrachtungen, welche ihm viel von seiner Stärke nehmen. Nach rein geologischen Zeugnissen zu urtheilen, würde die Periode, welche seit dem ersten Auftreten des maritimen Lebens verstrich, verglichen mit der zwischen der Eiszeit und der Gegenwart, als 1000:1 wahrscheinlich nicht unterschätzt seyn; folglich wird einleuchten, dafs wenn der Ocean z. B. um 20° F. in einer Zeit-Einheit erkaltete, er in einer weit entlegeneren Periode als 1000 solcher Einheiten sich auf der Siedhitze befunden haben müsse. Es giebt jedoch drei Umstände, welche eine solche unpassende Deduction verbieten. Fürs Erste würde die außerordentliche Verdampfung des Wassers bei sowenig vom Siedpunkt entfernten Temperaturen den Ocean und seinen Boden rasch auf eine vergleichend mäfsige Temperatur herabgebracht haben. Zweitens mußte der übermäfsige Niederschlag welcher in den praeglacialen Zeiten herabfiel, die Ablagerung der meisten sedimentären Gesteine beschleunigt haben, in solchem Maafse, dafs das oben gegebene Verhältnifs zwischen den prae- und postglacialen Zeiten bedeutend zu grofs wird. Drittens würde der Eintritt des

strengeren Theils der Eiszeit nothwendig eine rasche Abkühlung des Oceans verursacht und somit die während der postglacialen Zeit-Einheit bewirkte Erkaltung vergrößert haben.

Die Versuche von Dalton über die Gröfse der Verdampfung bei verschiedenen Temperaturen dienen zur Erläuterung der Wahrheit der ersten dieser Betrachtungen. Er fand, was Daniell später bestätigte, dafs die Gröfse der Verdampfung zunimmt in einer geometrischen Progression bei gleichen Anwüchsen sensibler Wärme. Aus demselben Grunde mußte die Ablagerung der meisten sedimentären Gesteine vor der Eiszeit in einem viel rascheren Verhältnifs geschehen seyn als nach derselben. In der That hängt die Gröfse der Ablagerung so wesentlich von dem Betrage des Niederschlags ab, dafs es keineswegs unwahrscheinlich ist, dafs das Verhältnifs der Abnahme von einem gewissen Punkt bis herab zur Eiszeit angenähert ebenfalls ein geometrisches war. Dadurch würde das Verhältnifs zwischen den prae- und postglacialen zoischen Perioden bedeutend verringert seyn. Endlich mußte das Herabsinken der Schneelinie zu dem Meeresspiegel längs einer ungeheuren Küste während der Eiszeit die Wirkung gehabt haben, dafs die Temperatur des Oceans rasch verringert wurde, weil die Niederschläge auf das Land, statt das Meer zu erreichen, nachdem sie auf Kosten der Sonnenhitze erwärmt worden, nun theils als eiskaltes Wasser, hauptsächlich aber als Eis selbst in das Meer geführt wurden; und jede Tonne des letzteren würde beim Schmelzen über vierzehn Tonnen Meerwasser um 10° F. abkühlen. Es ist auch zu bedenken, dafs dieses eiskalte Wasser nicht wie in Süßwasserseen an der Oberfläche schwimmen bleiben, sondern in den benachbarten warmen Wasser untersinken würde, da nach Despretz das Maximum der Dichtigkeit des Meerwassers 6°,6 F. unter dem Gefrierpunkt des reinen Wassers liegt¹⁾. Alle diese Umstände in Betracht gezogen und angenommen, der Ocean habe seit der Eiszeit

1) *Ann. de chim. et de phys.* vol. LXX, p. 45.

etwa 20° F. Wärme verloren, halte ich es für möglich, daß noch zwischen einer mit dem Leben der Seethiere unverträglichen Temperatur und jener Epoche eine hinreichende Zwischenzeit für die Entwicklung der verschiedenen die praeglacialen Meere bewohnenden Organismen übrig blieb. Für die Landthiere und Pflanzen entsteht keine solche Schwierigkeit, weil, wie schon auseinandergesetzt, die Temperatur der Oberfläche, während der ganzen Periode betrachtet, sehr wenig von der inneren Erdwärme afficirt wurde.

3. Neuere Untersuchungen haben einige Geologen zu dem Schluß geführt, daß die glaciale Wirkung in der Miocen- und sogar schon in der Permischen Periode stattfand; und obwohl die Belege, auf welchen dieser Schluß beruht, keineswegs allgemein von den Geologen angenommen worden ist, so ist es doch gut hier zu bemerken, daß eine solche entlegene Eiswirkung ganz verträglich ist mit den hier vertretenen Ansichten. In der That ist es eine nothwendige Folgerung aus diesen Ansichten, daß die sogenannte Eiszeit keine scharfe Gränzen hatte, obwohl, aus eben angegebenen Gründen, ihr Ende wahrscheinlich viel schärfer begränzt war als ihr Anfang. Ich habe schon dargethan, daß der ewige Schnee zuerst die Gipfel der Berge berührt haben, und dann langsam zum Meeresspiegel herabgesunken seyn würde. Allein man muß bedenken, daß der atmosphärische Niederschlag während der ganzen prae-glacialen Zeit größer war als während der Eiszeit selbst, und wo mithin das Land sich über die Schneelinie erhob, mußten Gletscher in einem Maafsstabe, die alle jetzigen übertreffen, die nothwendige Folge seyn. Es ist, glaube ich, für einen Geologen ungemein schwierig, selbst nur annähert die Umrisse des Landes während der Permischen Zeit anzugeben. Defsungeachtet glaubt Ramsay¹⁾, bei Aufstellung einer glacialen Episode während dieser Periode, er habe beträchtliche Zeugnisse von dem Daseyn einer Hügelreihe, von welchen diese Gletscher herabgekommen seyen.

1) *Proceedings of the Geolog. Soc., Aug. 1855.*

Solche Betrachtungen über die prae-glaciale Periode geben uns ein lebendiges Bild von dem damaligen Klima der Erde. Die Küsten der warmen Meere besaßen eine milde (*genial*) und merkwürdig gleichförmige Temperatur, die Luft war fortwährend warm und feucht, die Erde durch bewölkten Himmel vor der sommerlichen Sonne beschützt und durch eine Decke (*canopy*) von durchsichtigen, für die Ausstrahlung der Erde undurchdringlichen Wasserdämpfen vor der Winterkälte geschützt. Von der Küste abwärts auf flachen Grund wurden diese Eigenthümlichkeiten allmählich schwächer; allein an einer etwas steilen Küste mußte die Annäherung von warmen und kalten Klimaten viel enger seyn als jetzt. Die Flüsse und Seen, gespeist durch den Schnee der Berge, mußten ebenfalls einen merkbaren Contrast gegen die umgebenden Tiefländer darbieten, und somit auch auf engem Gebiete einen weiten Umfang von Temperatur, den thermischen Bekleidungen sehr verschiedener Organismen angemessen.

Als die Eiszeit hereinbrach wurde diese milde (*genial*) Zone allmählich verringert durch das fortschreitende Herabsinken der Schneelinie; denn obwohl die wirkliche, in Thätigkeit befindliche Wärmemenge an der Erdoberfläche während der Eiszeit größer war als später, so wurde doch die Winterkälte in den Massen des fallenden Schnees aufgespeichert, welche beim Schmelzen die Wärme des nachfolgenden Sommers absorbirten, und somit in Landstrichen, die nicht weit unter der Schneelinie lagen, sowohl die mittlere als die sommerliche Temperatur verringerten. Auch ward dieß Herabsteigen eines kalten Klimas selbst durch den Ocean nicht aufgehalten; denn der ungeheure Schub von Gletschereis in das Meer bildete längs den Küsten einen Gürtel von kaltem Wasser, wo viele maritime Organismen, welche ihre Ueberreste in den Eismassen zurückgelassen haben, eine ihnen zusagende Temperatur fanden. Die gewöhnliche Vorstellung also, daß die Eiszeit eine kalte Periode war, ist richtig, obwohl Wärme und nicht Kälte die *Ursache* derselben war. Dieses scheinbare Pa-

radoxon, daß Wärme die Ursache von Kälte sey, findet seine Parallele in den Eismaschinen, welche auf der letzten Londoner Ausstellung in Thätigkeit waren. In diesen Maschinen, welche 2 bis 12 Tonnen Eis auf eine Tonne Steinkohlen hervorbrachten, war das Product direct proportional der Wärmemenge, die durch die Verbrennung der Kohlen entwickelt wurde.

Dies sind die hauptsächlichsten Einwürfe gegen die Hypothese, die sich mir darbot oder von Anderen aufgestellt ward. Ich habe mich bemüht, sie zu beseitigen; allein es würde eitel seyn zu läugnen, daß einige derselben bedeutende Kraft behalten oder daß andere, vielleicht noch gewichtigere von Denen aufgefunden werden mögen, die gründlichere Kenntnisse von den Phänomenen der Eiszeit besitzen, als ich in Anspruch nehmen kann. Keiner Hypothese kann man einen Werth beilegen, bevor sie nicht durch und durch geprüft worden ist, bei welchem nothwendigen Proceß sie entweder stehen oder fallen muß. Mittlerweile empfiehlt diese sich dadurch, daß sie nicht die Annahme von Convulsionen oder Katastrophen in der Natur erfordert, keine ungeheuren oder plötzlichen Erhebungen oder Versinkungen, und keine Veränderungen in den thermischen Beziehungen unserer Erde zu der Sonne oder dem Himmelsraum. Im Gegentheil behauptet sie, daß die Eiszeit normal und graduell aus einem Wärmezustand des Innern der Erde hervorging, welcher schwerlich noch länger der Gegenstand von Controversen seyn kann.

Als Folgerung ergibt sich aus dieser Hypothese, daß die übrigen Körper unseres Sonnensystems entweder schon eine ähnliche Periode durchgemacht oder noch zu erwarten haben. Mit Ausnahme des Polareises auf dem Mars und der hellen Wolken auf dem Jupiter haben wir bisher keine sicheren Andeutungen von der thermischen oder meteorologischen Beschaffenheit der Planeten; und eben so wenig ist der physische Zustand ihrer Oberfläche unseren besten Fernröhren zugänglich. Anders verhält es sich mit dem Mond, dessen Entfernung nicht so groß ist, um uns nicht

verhältnißmäfsig kleine Details sehen zu lassen. Eine sorgfältige länger als ein Jahr fortgesetzte Beobachtung der Mond-Oberfläche mit einem versilberten Glasreflector von 7 Zoll Apertur und scharfer Vergrößerung, hat auf mich den Eindruck gemacht, dafs unser Satellit, wie sein Hauptplanet, eine Eiszeit durchgemacht hat, und dafs wenigstens mehre der *Thäler*, *Furchen* und *Striche* auf seiner Oberfläche nicht unwahrscheinlich von einer früheren Eiswirkung herstammen. Ungeachtet der vortrefflichen Schärfe der neueren Fernröhre, läfst sich nicht erwarten, dafs andere als die riesenhaftesten der charakteristischen Details eines alten Gletscherbodens sichtbar gemacht werden. Unter günstigen Umständen erreicht die End-Moräne eines Gletschers ungeheure Dimensionen und folglich würde, von allen Kennzeichen eines Eisthales, dieses am ersten wahrnehmbar seyn. Zwei solcher End-Moränen, eine von ihnen eine doppelte, scheinen mir auf der Mondoberfläche nachweisbar zu seyn. Die erste liegt nahe am Ende jenes merkwürdigen Strichs, welcher nahe an der Basis von Tycho anfängt, unter den südöstlichen Wall von Bullialdus vorbeigeht, in dessen Ring er einzuschneiden scheint, und sich allmählich verliert, nachdem er den Krater 216 (Lubienitzky) passiert hat. Genau diesem letzten Krater gegenüber und sich fast quer über besagten Strich ausdehnend, befinden sich zwei nordwärts gekrümmte Rücken, die den Beobachter an die concentrischen Moränen des Rhone-Gletschers erinnern. Jenseits des zweiten und äufsersten Rückens fällt ein Knorren (*talus*) allmählich nach Norden in das allgemeine Niveau der Mondsoberfläche ab. Diese Rücken sind während der ganzen Dauer der Beleuchtung dieses Theils der Mondsoberfläche sichtbar; allein es ist nur etwa am dritten Tage nach dem ersten Viertel und bei correspondirender Phase des abnehmenden Mondes, wenn die fast horizontal auffallenden Sonnenstrahlen die Details dieses Theils der Oberfläche in starkes Relief versetzen, dafs die Erscheinungen die eben aufgestellte Erklärung einflößen.

Der andere, einer End-Moräne entsprechende Rücken

findet sich am nördlichen Ende jenes prächtigen Thales, welches am östlichen Rande von Rheita vorbeigeht. Dieser Rücken ist fast halbrund und bedeutend erhaben sowohl über das nördliche Ende des Thals, als auch über die allgemeine Oberfläche des Monds. Er ist sichtbar etwa vier Tage nach Neu- und Vollmond; allein die Lage des Beobachters rücksichtlich der Lichte und Schatten machen sein Erscheinen in den Strahlen der aufgehenden Sonne bei weitem am auffallendsten.

In Bezug auf die Wahrscheinlichkeit einer früheren Wirkung des Eises oder auch nur des Wassers auf der Mondsoberfläche bieten sich anscheinend sehr große Schwierigkeiten dar. Es fehlt jetzt nicht nur an Beweisen für das Daseyn von Wasser in einem seiner Aggregatzustände auf der Mondsoberfläche, sondern alle selenographischen Beobachtungen scheinen im Gegentheil die Abwesenheit desselben darzuthun. Delsungachtet ist die Idee von einer früheren Wirkung des Wassers im Mond keineswegs neu; sie wurde von Gruithuisen und Anderen gehegt. Allein, wenn Wasser auf dem Mond vorhanden war, wohin ist es verschwunden? Nehmen wir an, in Uebereinstimmung mit der Nebularhypothese, daß die Portionen der Materie, aus welcher respective die Erde und der Mond zusammengesetzt ist, einst eine gleich hohe Temperatur besaßen, so folgt fast nothwendig, daß der Mond, vermöge der relativen Kleinheit seiner Masse, viel rascher erkalten mußte als die Erde; denn während der Mond nur ungefähr $\frac{1}{49}$ des Volums der Erde besitzt, ist seine Oberfläche nahe $\frac{1}{13}$ derselben.

Diese Erkal tung der Mondmasse mußte, nach aller Analogie, mit einer Contraction begleitet seyn, welche schwerlich als in bedeutende Tiefen hinabgehend zu denken ist, ohne nicht das Innere mit Höhlen zu erfüllen. Viele dieser Höhlen werden ohne Zweifel durch Risse mit der Oberfläche communiciren und dadurch einen inneren Recipienten für den Ocean bilden, aus dessen Tiefen selbst die brennende Sonne der langen Mondtage ganz unfähig ist

mehr als Spuren von Wasserdampf zu entwickeln. Angenommen die starre Masse des Mondes habe sich beim Erkalten in demselben Verhältniß wie der Granit zusammengezogen, so würde seine Erkaltung um nur 180° F. einen blässigen Raum von beinahe $14\frac{1}{2}$ Millionen Kubikmeilen (engl.) erzeugen und dieser wäre mehr als hinreichend den ganzen Monds-Ocean zu verschlingen, vorausgesetzt derselbe stände zur Mondsmasse in demselben Verhältniß wie unser Ocean zur Erdmasse.

Wenn dieß die gegenwärtige Beschaffenheit des Mondes ist, so läßt sich kaum der Schlufs vermeiden, daß ein flüssiger Ocean nur so lange auf der Oberfläche eines Planeten bestehen kann, als letzterer eine hohe innere Temperatur bewahrt. Der Mond wird dann für uns ein prophetisches Bild des letzten Schicksals, welches unsere Erde erwartet, wenn sie, ihres äufseren Oceans beraubt, mit einer verlangsamten Axendrehung, die zwischen Monat und Jahr liegt ¹⁾, einen oeden und leblosen Umlauf um die Sonne macht, jede Hemisphäre abwechselnd der verlängerten Gluth einer wolkenlosen Sonne und dem Dunkel einer arctischen Nacht aussetzend.

- 1) Mayer hat bewiesen, daß die Wirkung der Fluthen die Axendrehung der Erde zu hemmen sucht. Und obwohl die Länge des Tages seit Hipparch's Zeiten nicht um $\frac{1}{100}$ Sekunde zugenommen hat, so läßt doch diese Thatsache die Folgerung Mayer's unangetastet.

Seitdem Obiges geschrieben ward, hat Hr. James Croll im *Philosoph. Magazine* (Vol. XXVII, p. 285) einen ausführlichen Aufsatz über diesen Einfluß der Fluthen bekannt gemacht.

