

**ABHANDLUNGEN
DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT DER
WISSENSCHAFTEN UND KÜNSTE IN PRAG
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE ABTEILUNG**

III. BAND

**DIE BESTRAHLUNG DER ERDE DURCH
DIE SONNE UND DIE TEMPERATUR-
VERHÄLTNISSE IN DER QUARTÄREN
EISZEIT**

VON

RUDOLF SPITALER

PRAG 1940

**VERLAG DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN UND KÜNSTE
IN PRAG**

VERTRIEB: SUDETENDEUTSCHER VERLAG FRANZ KRAUS IN REICHENBERG

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.**

Gedruckt bei Rudolf M. Rohrer in Brünn.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	5
I. Der Beginn der letzten Eiszeit.	7
II. Die Bestrahlung der Erde durch die Sonne.	10
III. Die Zeiteinteilung nach der mittleren Sonnenlänge.	15
IV. Beispiel der Berechnung einer Bestrahlung	17
V. Die Bestrahlungsverhältnisse in der gegenwärtigen Zeit.	21
VI. Die periodischen Veränderungen der Erdbahnelemente.	23
VII. Die Extreme der Bestrahlung.	25
VIII. Umrechnung der Bestrahlung in Temperaturgrade.	28
IX. Die Nachwirkung der Winter- und Sommertemperaturen in den Frühling und Herbst	30
X. Ein Versuch, Isothermenkarten des Winters und Sommers für Europa und Sibirien in der Eiszeit zu zeichnen.	32
XI. Der Einfluß des Golfstroms und des sibirischen Klimas auf die Niederschlags- verhältnisse in Europa	40
XII. Die sommerliche und winterliche Bestrahlungskurve in der Eiszeit und die Gliederung der alpinen Eiszeit	45
XIII. Die sommerliche und winterliche Bestrahlungskurve in der Nach-Eiszeit.	58
XIV. Die Eiszeit im Äquatorialgebiet.	61
XV. Beziehungen zwischen Temperatur und Niederschlag in der Eiszeit	63
XVI. Wärme- und Kälteperioden höherer Ordnung.	69
XVII. Schlußfolgerung	73
Literatur	77

Vorwort

Es kommt leider sehr häufig vor, daß bei Bearbeitung eines wissenschaftlichen Gebietes nicht zuvor alles eingesehen wird, was darüber schon geschrieben wurde, wobei oft sehr Wertvolles ganz übersehen wird. Allerdings ist es zumeist in vielen Zeitschriften zerstreut, sogar in solchen, wo man eine diesbezügliche Abhandlung nicht vermuten würde, und dazu ist es oft sehr schwer, sich diese Zeitschriften zu verschaffen. Auch wird häufig alles, was nicht in den eigenen Gedankengang hineinpaßt, einfach beiseite geschoben oder kurz als falsch abgetan. Man begnügt sich mit einem das Thema behandelnden Handbuch und was darin steht wird als bisheriges Ergebnis auf diesem Forschungsgebiete betrachtet. Sehr zu bedauern ist es, daß Forscher auf einem benachbarten Gebiete zumeist nur ein solches Handbuch zu ihrer Orientierung benützen.

Sehr groß ist die Literatur, welche über die Eiszeiten, besonders aber über ihre Erklärung geschrieben wurde und daher begegnet man häufig den widersprechendsten Ansichten.

Auf diesem Gebiete haben auch wir sehr vieles in verschiedenen Zeitschriften veröffentlicht, was von der Fachwelt recht günstig aufgenommen wurde, aber leider wurde das eine oder andere Ergebnis mit einem ganz widersprechenden von anderer Seite in einen Topf geworfen und sogar miteinander verglichen, was natürlich zu Widersprüchen führen mußte und die ganze solare Bestrahlungstheorie mißkreditierte.

Da es mir erst vor kurzem gelungen ist, die Formel zu finden, mit welcher die wahre mittlere Bestrahlung der Erde durch die Sonne berechnet werden kann, habe ich mich entschlossen, die diesbezüglichen Untersuchungen und Ergebnisse in einem kleinen Buche einheitlich zusammenzustellen, damit hoffend, daß dieselben auf diese Weise den Fachleuten, besonders auch auf den Nebengebieten, leichter zugänglich sein werden.

Es ist nicht umfangreich und durch verwickelte mathematische Formeln beschwert. Wie die Berechnung einer Bestrahlung praktisch durchgeführt wird, ist an einem Beispiele dargelegt.

Damit wird jedenfalls die Benützung der verwickelten Formeln von M. Milankovitch überflüssig gemacht, die übrigens, wie noch gezeigt wird, infolge einer unrichtigen Voraussetzung nicht die wahren Bestrahlungen wiedergeben und zu Fehlschlüssen geführt haben. Auch ist damit wohl auch die Verwendung der ebenfalls recht komplizierten Formeln von Fr. Hopfner unnötig geworden, obwohl sie die wahren Verhältnisse mit großer Annäherung geben.

I. Der Beginn der letzten Eiszeit

Vor etwa einer Million von Jahren, in der geologischen Diluvialzeit, begannen die Gletscher der Hochgebirge allmählich immer stärker und weiter vorzudringen, füllten mit ihren langen und breiten Zungen die Täler bis weit in die Ebenen hinab aus, flossen sogar über bisher unvergletscherte Berge hinweg, so daß Gegenden, die heute vollständig eisfrei sind, damals bis auf 2000 m Höhe und mehr von Gletschern bedeckt waren. Nur einzelne hohe Bergspitzen überragten das Eis als Felsenriffe. Man findet im Inneren der Alpen in 1200 bis 1400 m über der heutigen Talsohle Gletscherschliffe und erratische Blöcke, abgesehen von den vielen Moränen im Flachlande, welche die Gletscher dorthin verfrachtet haben. Auch die Trogform vieler Täler beweist, daß sie einst von Gletschern ausgehobelt wurden.

Besonders über Nordeuropa und Nordamerika brachen diese großen Eismassen ganz gewaltig vor. Sie bedeckten ungefähr 30 Millionen km² Land und die abgelagerte Eismasse kann zu 27 000 Billionen Tonnen angesetzt werden.

Es ist aber dieses Gebiet nicht etwa von den Polen her mit Eis überzogen worden, sondern es trat eine gewaltige Vergrößerung der Ausdehnung der damaligen Gletscher ein, die nicht anders als die gegenwärtigen waren.

Die eiszeitlichen Gletscher stellen nach A. Penck nur Anschwellungen der Zungen dar, nicht aber zugleich auch eine Ausbreitung der Firnfelder. Die heutigen Firnfelder waren während der Eiszeit nicht voller als jetzt. Oberhalb der heutigen Schneegrenze dürften die Alpen während der Eiszeit ähnlich wie heute ausgesehen haben, wenn auch die die Firnfelder umrahmenden Felskämme mehr beschneit gewesen sein dürften.

In Europa ging eine Vereisung von Skandinavien und Finnland aus, die weit nach Deutschland und Rußland ausgebreitet war. Es staute sich aber das Eis zur Zeit seiner größten Ausdehnung am Wall der Mittelgebirge, während es in Rußland nach Überschreitung der Wasserscheide frei auslaufen und sich weiter ausdehnen konnte.

Die Gletscher der Alpen bedeckten einst eine Fläche von ungefähr 30 000 km² des nördlichen und nordwestlichen Vorlandes. Der Rhonegletscher überflutete den Genfersee und reichte bis Lyon. Alle Flußtäler, die von der Südseite der Alpen in den Po münden, wie die Täler der Dora Baltea, des Tessin, der Adda, des Oglio, der Etsch, der Piave und des Tagliamento waren damals Gletscherströme und haben dort gewaltige Moränen hinterlassen. Grönland war wie heute mit Eis bedeckt; auch die britischen Inseln, die Pyrenäen, die Tatra, die Karpathen, der Kaukasus waren von Eis überschwemmt. Nordamerika hatte die größte zusammenhängende Eisbedeckung, die stellenweise bis 39° Breite hinabreichte. Infolge der größtenteils kontinentalen Lage der

asiatischen Gebirge war dort aus klimatischen Gründen die Vergletscherung geringer, doch hatte auch der Himalaja seine Eiszeit.

Zwischen dem nördlichen Eisfächer und der Nordgrenze der Alpenvergletscherung haben sich Tiere und Pflanzen auf das eisfreie Gebiet zurückgezogen, wo man auch wichtige Funde über den Menschen der Diluvialzeit machte. Hier und noch in vielen anderen Gegenden finden sich auch ausgedehnte ältere Flußablagerungen; die Urstromtäler, welche der Pluvialperiode entstammen, die gleichzeitig mit der Eiszeit eingetreten war. Solche sind auch in der Sahara; in Australien und a. O. vorhanden, ein Zeichen, daß diese Gebiete damals noch reichlich bewässert waren. Auch von vielen abflußlosen Seen ist durch höhere Strandlinien und Abflüsse über den gegenwärtigen Wasserspiegel nachgewiesen, daß sie in dieser Zeit viel höher standen als gegenwärtig.

Ähnlich wie auf der Nordhalbkugel wurde aber für die Diluvialzeit auch eine zunehmende Vergletscherung auf der Südhälfte der Erde, in Südamerika, Südafrika und Australien, nachgewiesen. Besonders beachtenswert aber war der Nachweis von H. Meyer, daß selbst im Tropengebiete damals die Gletscher um 800 bis 1000 m herabgingen.

Von besonderer Wichtigkeit ist der Nachweis, daß die Vergletscherung in den Kordilleren Amerikas von Norden über den Äquator bis in den Süden keine größere zeitliche Verschiedenheit gehabt haben dürfte, so daß die Eiszeit auf beiden Halbkugeln nahezu gleichzeitig gewesen sein müßte. Auch die Seespiegelschwankungen zur Eiszeit sind nach allgemeiner Ansicht gleichzeitig auf der ganzen Erde eingetreten.

Durch Vergleichung der heutigen Veränderlichkeit der Gletscher ist Penck zu dem Ergebnisse gelangt, dem alle Glazialgeologen zustimmen dürften, daß die gegenwärtigen Gletscher auf zwei Arten anwachsen, erstens durch Vermehrung der Firnmassen und zweitens durch Verminderung des Abschmelzens der Zungen. Die Vermehrung eines Gletschers geht vom Firnfeld aus und ist durch Vermehrung der Niederschläge bedingt. Die Verminderung des Abschmelzens der Zungen rührt von der Minderung der während eines Jahres zum Schmelzen verwendeten Wärme, hauptsächlich der Sommermonate her. Wenn aber während der Eiszeit die Firnfelder nicht voller als heute waren, so kann die Vergrößerung der Gletscher nicht durch Vermehrung des Niederschlages bedingt sein, sondern durch Verminderung des Abschmelzens, also Erniedrigung der Sommerwärme.

Diese Temperaturerniedrigung braucht gar nicht groß angenommen zu werden. In den Alpen beträgt der Unterschied in der Höhenlage der eiszeitlichen und der gegenwärtigen Schneegrenze 1200 m, entsprechend einem Temperaturunterschied von 6°.

Zur Erklärung der Klimaänderungen zu den Eiszeiten sind verschiedene Ansichten ausgesprochen worden, die hier nur angedeutet seien. Da das ganze

Sonnensystem eine Eigenbewegung im Weltraume von 20 km/sec Geschwindigkeit hat, wäre es denkbar, daß es durch wärmere und kältere Gegenden hindurchkäme, wodurch auch Erwärmungen und Abkühlungen der ganzen Erde verursacht werden könnten. Auch dachte man daran, daß die Stärke der Sonnenstrahlung veränderlich sein könnte oder daß das Sonnensystem durch eine kosmische Staubwolke hindurchgegangen wäre, wodurch eine Abschaltung der Sonnenstrahlen und daher Abkühlung der Erde eingetreten sein müßte.

Auch Änderungen der chemischen Zusammensetzung der Luft wurden zur Erklärung herangezogen, besonders ein Wechsel des Gehaltes an Kohlensäure, indem erhöhter Kohlensäuregehalt durch Schirmwirkung eine Temperatursteigerung, verminderter eine Erniedrigung ergebe. Tatsächlich werden bei Vulkanausbrüchen große Mengen von Kohlensäure in die Lufthülle überführt; es hätte demnach die Eiszeit mit einer Abnahme der vulkanischen Tätigkeit einhergehen müssen.

Vom geologischen Standpunkte aus wurde auf die im Laufe der Zeit veränderte Wasser- und Landverteilung infolge von Hebungen und Senkungen hingewiesen, hervorgerufen durch vulkanische Tätigkeit oder Abtragung der Landflächen und Anhäufung der abgetragenen Stoffe im Meere. So glaubte man annehmen zu können, daß die Alpen einst höher gewesen wären, so daß die Schneegrenze tiefer lag und die Gletscher erst durch eine Senkung nach der Eiszeit auf ihre heutige Ausdehnung zurückgewichen wären.

Auch größere Verlagerungen der Drehungsachse der Erde, die sich aber geophysikalisch in so großem Maßstabe nicht nachweisen lassen, sollten zeigen, daß vereiste Gebiete früher den Polen näherlagen als heute.

Die schon von Adhémar (1842) und von James Croll (1864, 1875, 1889) aufgestellte und später von R. Ball (1891) und Ekholm (1901) u. a. weiter verfolgte Auffassung, daß infolge des Wechsels der Stellung der Erde im Nordwinter in Sonnennähe und Nordsommer in Sonnenferne und etwa nach 10 500 Jahren im Nordwinter in Sonnenferne und Nordsommer in Sonnennähe kalte und warme Zeiten abwechseln müßten, wurde zunächst nicht weiter verfolgt, weil in diesem Falle die Eiszeiten auf den beiden Erdhälften abwechselnd hätten eintreten müssen, und daher gegenwärtig auf der Südhalbkugel eine Eiszeit herrschen müßte.

Wir haben uns schon seit mehreren Jahren mit diesen Untersuchungen beschäftigt. Dieselben haben jetzt ihren Abschluß gefunden und darüber soll nun im folgenden berichtet werden.

II. Die Bestrahlung der Erde durch die Sonne

Dieses scheinbar einfache Problem wurde schon frühzeitig von mehreren Seiten zu beantworten versucht, aber die Ergebnisse waren vielfach im gegenseitigen Widerspruch. Es ist naheliegend, daß die Bestrahlungsverhältnisse der Erde durch die Sonne von den verschiedenen Stellungen derselben zur Erde oder daß, mit anderen Worten, dieselben vom Zusammenwirken der Elemente der Erdbahn, nämlich von Exzentrizität, der Schiefe der Ekliptik und der Perihellänge bedingt sein müssen.

Eine besondere Bedeutung erlangte eine Abhandlung von Chr. Wiener¹⁾, als das Problem für die Erforschung der klimatischen Verhältnisse der Eiszeit von Bedeutung wurde, indem er fand, daß zur Zeit des Sommersolstitiums die tägliche Bestrahlung des Pols vier Drittel derjenigen ist, welche zur selben Zeit am Äquator herrscht. Dieses Ergebnis ist auch in die Hand- und Lehrbücher der Meteorologie übergegangen und hat besonders bei den Nachforschungen über das Polarklima in der Tertiärzeit großes Interesse gefunden.

Ich veranlaßte daher schon vor längerer Zeit meinen ehemaligen Schüler Fr. Hopfner^{2a, b)}, das Problem der Bestrahlung einer gründlichen mathematischen Revision zu unterziehen, und tatsächlich fand er, daß die Definition der mittleren Bestrahlung eines Breitenkreises mehrdeutig ist, weil ein Breitenkreis während eines Tages zeitweilig gar nicht oder nur zum Teil oder ununterbrochen bestrahlt ist, und daß man zu gegenseitigen Widersprüchen kommt, sobald man über einen Tag hinausgeht. Damit hatte Hopfner geradezu in ein Wespennest der alten Auffassungen hineingestochen und es wurde auch sofort mit Berichtigungen über ihn hergefallen. Am einfachsten aber hat es M. Milankovitch^{3a, b)} gemacht, indem er Hopfners Darlegungen kurzerhand als falsch bezeichnete, ohne es aber zu beweisen.

Da es ganz aussichtslos erschien, die von Hopfner gemachten Ableitungen mit denen von Wiener und Milankovitch direkt zu vergleichen, indem dabei immer aneinander vorbeigeredet wurde, entschloß ich mich, den Sachverhalt in ganz objektiver Weise darzulegen und besonders zu zeigen, daß die Definition der mittleren Bestrahlung mathematisch mehrdeutig ist, worauf Hopfner schon in seinen ersten Abhandlungen hingewiesen hat, was aber bei den Kontroversen nicht beachtet wurde. Diese Abhandlung wurde dann später noch eingehender ausgeführt, als die Formeln und Berechnungen von Milankovitch allmählich immermehr Verbreitung fanden und er eine „Strahlungskurve“ für die letzten 600 000 Jahre entwarf, die von W. Köppen als Kurve des Eiszeitverlaufes gedeutet und zur Gliederung der quartären Eiszeit verwendet wurde, was mit meinen Be-

rechnungen nach Hopfners Formeln nicht im Einklang war, indem im Sommerhalbjahr und besonders im Winterhalbjahr die mittleren täglichen Bestrahlungen eines Breitenkreises benachteiligt sind, so daß ein falsches Bild von den jahreszeitlichen Bestrahlungsverhältnissen die Folge ist, wie wir dies auch in einer Abhandlung „Zur Chronologie des Eiszeitalters“ näher ausgeführt haben^{4b-d}).

Um die Mehrdeutigkeit der Definition der mittleren Bestrahlung eines Breitenkreises zu zeigen, seien nur zwei Beispiele angeführt. Bezeichnet S die gesamte Bestrahlung des bestrahlten Teiles eines Breitenkreises an einem Tage, B die Länge dieses Bogenstückes und U den Umfang des ganzen Breitenkreises, so erhält man eine mittlere Bestrahlung pro Flächeneinheit unter der Annahme, daß die Bestrahlungsmenge, welche das Bogenstück B erhält, gleichmäßig auf demselben verteilt wird, durch $S_m = \frac{S}{B}$.

Man kann aber diese Strahlungsmenge auch auf den ganzen Umfang verteilen und bekommt dann die mittlere Bestrahlung: $S'_m = \frac{S}{U}$.

Beide geben ein Bild der relativen Verteilung der Bestrahlung über alle Breiten. Welches entspricht aber den wirklichen Verhältnissen?

Beide Definitionen haben verschiedene Konsequenzen. Am Äquator erhält man im ersteren Falle $\frac{S}{B}$ und im zweiten Falle $\frac{S}{2B}$. Für den bestrahlten Pol erhält man in beiden Fällen denselben Wert. Das Verhältnis der Wärmemengen Äquator zu Pol fällt also verschieden aus, ob man diese oder jene Definition wählt.

Der Kreis (Fig. 1) stelle einen Durchschnitt der Äquatorebene dar und der gestrichelte Meniskus sei die Größe der Bestrahlung einer dünnen Scheibe am Äquator an einem Tage bei der Deklination der Sonne $\delta = 0^\circ$.

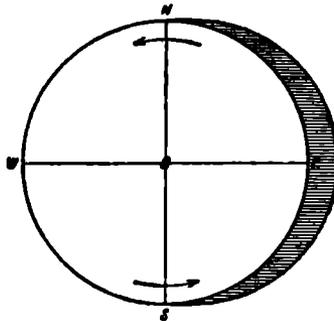


Fig. 1.

Bei ruhender Erde ist daher die mittlere Bestrahlung für diesen bestrahlten Halbkreis $S_m = \frac{S}{\pi}$. Diesen Bestrahlungsmeniskus kann man sich der Sonne gegenüber als festliegend denken.

Nun rotiert aber die Erde während eines Tages an dem Bestrahlungs-meniskus vorüber, und ein Punkt nach dem anderen kommt in seinen Bereich und erhält während seines Vorüberganges von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang die Bestrahlungssumme S .

Man erhält daher die mittlere tägliche Bestrahlung eines Punktes, wenn man die Summe S durch die Grundlinie des Meniskus, in diesem Falle also durch den Halbkreis oder π , also allgemein durch die Länge des vom Meniskus überspannten Bogens (B) dividiert. Ist der Bestrahlungs-meniskus größer als der Halbkreis (Sommerhalbjahr aller Breiten polwärts vom Äquator), so ist die mittlere tägliche Bestrahlung $S_m = \frac{S_s}{B_s}$, wenn S_s die ganze sommerliche Bestrahlung während eines Tages auf dem Bogenstücke B_s bezeichnet; ist derselbe kleiner als der Halbkreis (Winterhalbjahr aller Breiten polwärts vom Äquator), so ist analog die mittlere tägliche Bestrahlung $S_m = \frac{S_w}{B_w}$.

Wiener und Milankovitch dividieren die Summe S aber immer durch den ganzen Kreisumfang, durch 2π . Es wird auf diese Weise im Sommerhalbjahre und besonders im Winterhalbjahre die mittlere tägliche Bestrahlung eines Breitenkreises benachteiligt, während bei der Division der Tagessumme durch die Länge des betreffenden Bogenstückes beide Halbjahre zu ihrer wahren mittleren Bestrahlung kommen.

Hopfner hat bei der Ableitung seiner Formeln noch eine andere Definition der mittleren Bestrahlung eingeführt, wodurch dieselben sehr vereinfacht wurden; und die Ergebnisse damit kommen den wahren Bestrahlungen sehr nahe, während sie nach den Formeln von Wiener und Milankovitch davon viel mehr abweichen.

Wie ich aber erst jetzt ersehen habe, können die wahren mittleren Bestrahlungen durch eine ganz einfache Formel sehr rasch und leicht berechnet werden.

Bedeutet dW die unendlich kleine Wärmemenge, welche in der unendlich kleinen (mittleren) Zeit dt der Flächeneinheit in der Entfernung r vom Sonnenmittelpunkt unter dem Winkel h zugestrahlt wird, so ist

$$dW = \frac{C}{r^2} \sin h \, dt ,$$

worin C ein Proportionalitätsfaktor ist. Von dieser Formel wurde bei allen Untersuchungen immer ausgegangen. Statt der Höhe h der Sonne über dem Horizont kann man auch ihre Zenitdistanz $h = 90^\circ - z$ setzen, und man hat daher

$$dW = \frac{C}{r^2} \cos z \, dt .$$

In der Integration dieser Gleichung für die Zeiten der Bestrahlung von t_0 bis t (Sonnenaufgang bis zur Kulmination) lag die große Schwierigkeit

aller Bearbeitungen, weil $\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \tau$ ist, wenn δ die Deklination der Sonne und τ den Stundenwinkel derselben bedeuten. Es mußte $\cos z$ als Funktion von δ und τ dargestellt werden. Da aber δ von der wahren (\odot) oder auch mittleren (L) Sonne abhängig ist, war die Beziehung zwischen L und τ zu suchen. Da für die Zeit t die mittlere Sonnenlänge benützt werden kann, käme es darauf an, den besten Weg zu finden, $\frac{dW}{dL}$ darzustellen. Darauf braucht hier nicht näher eingegangen zu werden.

Da die mittlere Sonne (L) an einem Tag ungefähr 1° zurücklegt, kann man für einen Tag die Deklination der Sonne als konstant annehmen, und es muß nun unzweifelhaft eine Zenitdistanz der Sonne z_0 geben, bei welcher die mittlere Bestrahlung während eines Tages eintritt. Hopfner^{2c)} fand nun schon vor längerer Zeit, ohne sich der großen Tragweite seines Ergebnisses bewußt zu sein, so daß es mir vorbehalten blieb, davon die Nutzenanwendung zu machen, für die genannte wahre mittlere Bestrahlung $S_m = \frac{S}{B}$ die Formel:

$$\cos z_0 = \cos \delta \cos \varphi \frac{\sin \tau_0}{\arccos \tau_0} + \sin \delta \sin \varphi,$$

worin δ die mittlere Deklination der Sonne, τ_0 ihren halben Tagbogen ($\cos \tau_0 = -\tan \delta \tan \varphi$) und φ die geographische Breite des betreffenden Erdortes bedeuten.

Die bei einer mittleren Sonnenlänge (L) vorhandene Deklination der wahren Sonne (\odot) ist gegeben durch

$$\sin \delta = \sin \epsilon \sin \odot,$$

worin ϵ die jeweilige Schiefe der Ekliptik bedeutet und die wahre Sonnenlänge (\odot) durch die mittlere (L) mit der Formel berechnet werden kann:

$$\odot = L + 2e \sin(L - \Pi) + \frac{5}{4} e^2 \sin 2(L - \Pi) + \frac{13}{12} e^3 \sin 3(L - \Pi) + \dots$$

worin e die Exzentrizität der Erdbahn und Π die jeweilige Länge des Perihels bedeuten.

Während die mittlere Sonne den Bogen $L_1 - L_2$ zurücklegt, ändert sich auch die Deklination derselben von $\delta_1 - \delta_2$, und es muß daher auch für diese Zeit ein mittleres z_0 geben, so daß auch die mittleren täglichen Bestrahlungen auf diese Weise für größere Zeitabschnitte berechnet werden können.

Das mittlere δ_m ist angenähert $\frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$. Da aber δ sich nicht gleichmäßig auf dem Bogenstück $L_1 - L_2$ ändert, muß dasselbe genau durch ein Integral berechnet werden, nämlich

$$\sin \delta_m = \sin \epsilon \frac{\int_{\odot_1}^{\odot_2} \sin \odot \, d\odot}{\arccos(\odot_2 - \odot_1)} = \sin \epsilon \frac{\cos \odot_1 - \cos \odot_2}{\arccos(\odot_2 - \odot_1)}.$$

Damit sind die Berechnungen der Bestrahlung statt nach Hopfners Formeln oder besonders nach denen von Milankovitch ganz wesentlich vereinfacht und geben auch die wahren mittleren Bestrahlungen.

A. Penck und E. Brückner, wohl die beiden besten Kenner der alpinen Vergletscherung, schätzten die Dauer der Eiszeit auf 1 Million Jahre, während M. Milankovitch dieselbe in seiner Strahlungskurve in die letzten 600 000 Jahre eingezwängt hat.

In einer Abhandlung „Die Strahlungstheorie und die geologische Zeitrechnung“ bespricht A. Penck⁵⁾ die Ergebnisse, welche Köppen und Wegener u. a. aus der neuerlichen Bestrahlungskurve von Milankovitch, welche übrigens, wie wir gezeigt haben, gegenüber der Wirklichkeit nicht richtig ist, abgeleitet haben. „Der Kanon von Milankovitch (wie Penck dessen Bestrahlungskurve nennt) gewährt uns kein Hilfsmittel, die deutlich erkennbaren Temperaturschwankungen des Eiszeitalters zu erklären. Seine Strahlungskurven geben den Umfang der wirklich stattgefundenen Schwankungen nicht wieder, und dieser kann durch die Änderungen bloß der Sommertemperaturen nicht erfaßt werden. Vom physiogeographischen Standpunkte aus läßt sich aus den Strahlungskurven nicht die Geschichte des Eiszeitalters entnehmen. Aber bei Geologen haben sie vielfach Beachtung als ein Hilfsmittel gefunden, eine absolute Chronologie in die Geologie einzuführen. Dabei hat man sich gestützt auf Übereinstimmungen zwischen berechneten und aus Beobachtungen gewonnenen Zeitabschnitten.“ Jetzt folgen die Widerlegungen.

Leider hat Penck auch, die von mir vor einiger Zeit gegebene Chronologie, welche aber die Eiszeit auf die Zeit von 1 361 540 bis zur Gegenwart ausdehnte, mit der vor Milankovitch verglichen, so daß auch diese schlecht wegkommt.

Zum Schlusse seiner Abhandlung aber sagt Penck doch: „Wenn aber die Bestrahlung der Erde zeitweilig periodische Schwankungen aufweist, dann dürfen wir die Hoffnung nicht aufgeben, daraus einmal die Grundlagen für eine absolute Zeitrechnung zu gewinnen. Davon sind wir heute noch weit entfernt.“ Wir werden ja zeigen, daß unsere neue Formel der Bestrahlungen das Problem doch gelöst hat.

III. Die Zeiteinteilung nach der mittleren Sonnenlänge

In der Meteorologie nimmt man als mittlere Temperatur eines Monats das Mittel aus den 31, 30 oder 28 bzw. 29 Tagestemperaturen an. Es sind also die Monatstemperaturen nicht ganz gleichwertig, weil sie aus verschiedenen langen Monaten gebildet werden. Legt man aber der Zeitrechnung die mittlere Sonnenlänge zugrunde, so erhält man 12 gleich lange Monate zu je 30° mittlerer Sonnenlänge. Wäre auch hier für jeden Grad mittlerer Sonnenlänge die Temperatur eines Ortes gegeben, so bekäme man aus den 30 Werten die mittlere Temperatur eines solchen Monats oder aus der Temperatursumme eines Monats nach Division durch 30 die mittlere Temperatur eines Gradtages. Auf diese beiden Arten gebildete mittlere Monatstemperaturen sind zwar nicht strenge miteinander vergleichbar, aber es besteht sicher kein wesentlicher Unterschied.

Bei kreisförmiger Bahn der Erde um die Sonne ist die mittlere Länge der letzteren am 21. März 0°, am 21. Juni 90° usw. Legt man die mittleren Sonnenlängen 0°, 30°, 60° . . . in die Mitte der Monate, so wollen wir analog der üblichen Benennung bezeichnen:

Januar	L = 285°—315°	oder beiläufig	5. Januar	—4. Februar
Februar	L = 315°—345°	„ „	5. Februar	—6. März
März	L = 345°— 15°	„ „	7. März	—5. April
April	L = 15°— 45°	„ „	6. April	—6. Mai
Mai	L = 45°— 75°	„ „	7. Mai	—5. Juni
Juni	L = 75°—105°	„ „	6. Juni	—6. Juli
Juli	L = 105°—135°	„ „	7. Juli	—5. August
August	L = 135°—165°	„ „	6. August	—4. September
September	L = 165°—195°	„ „	5. September	—5. Oktober
Oktober	L = 195°—225°	„ „	6. Oktober	—5. November
November	L = 225°—255°	„ „	6. November	—5. Dezember
Dezember	L = 255°—285°	„ „	6. Dezember	—4. Januar

Für die vier Jahreszeiten erhält man die folgende Abgrenzung:

Frühling	L = 315°— 45°
Sommer	L = 45°—135°
Herbst	L = 135°—225°
Winter	L = 225°—315°

Es fällt also der höchste Sonnenstand in die Mitte des Sommers, der tiefste in die Mitte des Winters und der Äquatorstand in die Mitte des Frühlings und Herbstes.

Man erhält auf diese Weise immer, auch bei elliptischer Bahn der Erde, gleich lange Monate und Jahreszeiten, was beim Vergleiche der Temperaturen

derselben bei verschiedenen Exzentrizitäten und Perihelstellungen von großem Werte ist. Man vergleicht dann hier nicht einen langen Winter, wenn er in das Aphel fällt, mit einem kurzen, wenn er in das Perihel fällt, sondern in beiden Fällen das Mittel aus drei gleich langen Monaten. Das bietet gegenüber der bisherigen Betrachtungsweise dieser Verhältnisse einen bedeutenden Vorteil. Während man bisher immer nur von einem um so und so viele Tage längeren Aphelwinter als Perihelsommer usw. sprach, indem man auf den Stand der Sonne zum Äquator Rücksicht nahm, kommt bei unserer Betrachtungsweise dieser Unterschied in Temperaturgraden eines gleich langen Sommers und Winters zum Ausdrucke, so daß ein in Tagen gleich langer Teil eines Perihelsommers mit einem ebenso langen Teil eines Aphelsommers verglichen werden kann. Man vergleicht das Mittel der Temperaturen aus 90 Tagen eines Perihelsommers mit 90 Tagen eines Aphelsommers. Welchen Weg die wahre Sonne innerhalb dieser Zeit in ihrer Bahn zurückgelegt hat, ist für diese Betrachtung gleichgültig.

Aus unseren Berechnungen und Tabellen, die noch auf Hopfners Formeln beruhen^{4a)}, sei ein Beispiel herausgegriffen.

Bei $e = 0.07775$ und $\epsilon = 27^\circ 48'$ ist die mittlere Sommertemperatur des 60° Breitenkreises, die gegenwärtige Landverteilung vorausgesetzt,

bei $\Pi = 90^\circ \dots 21.6^\circ$ Perihelsommer

„ $\Pi = 270^\circ \dots 10.9^\circ$ Aphelsommer

„ $\Pi = 0$ u. 180° . 15.4° Frühling bzw. Herbst im Perihel.

Bei $e = 0.07775$ und $\epsilon = 20^\circ 34'$:

$\Pi = 90^\circ \dots 18.0^\circ$ Perihelsommer

$\Pi = 270^\circ \dots 8.0^\circ$ Aphelsommer

$\Pi = 0$ u. 180° . 12.1° Frühling bzw. Herbst im Perihel.

Bei $e = 0$ (Kreisbahn) kommt Π nicht in Betracht;

bei $\epsilon = 27^\circ 48' \dots 16.1^\circ$

„ $\epsilon = 20^\circ 34' \dots 12.8^\circ$,

während bei der gegenwärtigen Exzentrizität, Schiefe der Ekliptik und Perihelstellung die mittlere Sommertemperatur 13.1° beträgt.

Man ersieht aber aus der genannten Tabelle auch, daß bei dem erstgenannten Beispiele, große Exzentrizität und große Schiefe der Ekliptik, dem sehr warmen Perihelsommer ein sehr kalter Aphelwinter (-22.4°) und dem kühlen Aphelsommer ein warmer Perihelwinter (-19.9°) zugehört. Die Änderung der Sommertemperatur ist 10.7° , der Wintertemperatur aber nur 2.5° . Dafür gehört aber zum warmen Sommer ein kühler Frühling und Herbst, zum kalten Sommer aber ein warmer Frühling und Herbst, so daß die mittleren Jahrestemperaturen -1.8° in beiden Fällen gleich bleiben. Mit solchen Temperaturdaten der Vorzeit wird sich nun leicht klimatologisch rechnen lassen.

IV. Beispiel der Berechnung einer Bestrahlung

Als Beispiel der Berechnung einer Bestrahlung, die auch auf die südliche Hemisphäre ausgedehnt wird, sei das Jahr 209 400 vor 1850 $\Pi = 270^\circ$, $e = 0.0451$, $\epsilon = 24^\circ 24'$ gewählt.

$$\text{Nord} \left\{ \begin{array}{l} \text{Sommer L} = 45^\circ - 135^\circ \text{ Winter} \\ \text{Winter L} = 225^\circ - 315^\circ \text{ Sommer} \end{array} \right\} \text{Süd}$$

Diese mittleren Sonnenlängen müssen zunächst in wahre Sonnenlängen (\odot) umgerechnet werden:

$$\odot = L + 2 e \sin (L-\Pi) + \frac{5}{4} e^2 \sin 2 (L-\Pi) + \dots,$$

das 3. Glied kann als sehr klein vernachlässigt werden. Da die Korrekturen mit $(L-\Pi)$ und $2(L-\Pi)$ in Bogenminuten gerechnet werden, hat man:

$$\frac{2 e}{\sin 1'} = \frac{2}{\sin 1'} e = \overline{3.8373} e$$

und

$$\frac{\frac{5}{4} e^2}{\sin 1'} = \frac{5/4}{\sin 1'} e^2 = \overline{3.6332} e^2.$$

Weiter hat man:

S o m m e r			W i n t e r	
	Anfang	Ende	Anfang	Ende
L- Π	135°	225°	315°	45°
2(L- Π)	270°	90°	270°	90°

Da $\sin 45^\circ = 0.707$ und $\sin 90^\circ = 1$
 $\sin 135^\circ = 0.707$ und $\sin 270^\circ = -1$ ist,
 $\sin 225^\circ = -0.707$
 $\sin 315^\circ = -0.707$

vereinfachen sich die Berechnungen der Korrektionsglieder ganz wesentlich:

log konst. Faktor	3.8373	3.6332
log e bzw. e ²	8.6542	7.3084
	2.4915	0.9416
Num. 310.1'		8.7'
× 0.707 = 219.3'		× -1 = -8.7'

daher

$$\left. \begin{array}{l} \text{Sommer } \odot_1 = 45^\circ + 3^\circ 39' 3'' - 8' 7'' = 48^\circ 30' 6'' \\ \quad \quad \odot_2 = 135^\circ - 3^\circ 39' 3'' + 8' 7'' = 131^\circ 29' 4'' \end{array} \right\} \begin{array}{l} \odot_2 - \odot_1 \text{ arc } (\odot_2 - \odot_1) \\ 82^\circ 58' 8'' \quad 1 \cdot 4483 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Winter } \odot_1 = 225^\circ - 3^\circ 39' 3'' - 8' 7'' = 221^\circ 12' 0'' \\ \quad \quad \odot_2 = 315^\circ + 3^\circ 39' 3'' + 8' 7'' = 318^\circ 48' 0'' \end{array} \right\} \begin{array}{l} 97^\circ 36' 0'' \quad 1 \cdot 7034 \end{array}$$

Jetzt folgt die Berechnung der mittleren Deklination der Sonne (δ_m) im Sommer und Winter mit der Formel:

$$\sin \delta_m = \sin \varepsilon \frac{\cos \odot_1 - \cos \odot_2}{\text{arc } (\odot_2 - \odot_1)}$$

Sommer		Winter	
$\log \cos \odot_1 = 9 \cdot 8212$	Num. 0·6625	$9 \cdot 8765_n$	Num. — 0·7525
$\log \cos \odot_2 = 9 \cdot 8212_n$	Num. — 0·6625	$9 \cdot 8765$	Num. + 0·7525
$\cos \odot_1 - \cos \odot_2$	Num. 1·3250		— 1·5050
$\log (\odot_1 - \cos \odot_2)$	0·1222		0·1775 _n
$\log \sin \varepsilon$	9·6161		9·6161
×	9·7383		9·7936 _n
$\log \text{arc } (\odot_2 - \odot_1)$	0·1609		0·2313
$\log \sin \delta_m$	<u>9·5774</u>		<u>9·5623_n</u>
δ_m	22° 12'		— 21° 25'

Man ersieht auch hier die vielen Vereinfachungen bei der praktischen Berechnung.

Für die Berechnung der mittleren Bestrahlung $S_m = \cos z_0$ hat man für die Breite φ :

$$\cos z_0 = \cos \delta_m \cos \varphi \frac{\sin \tau_0}{\text{arc } \tau_0} + \sin \delta_m \sin \varphi,$$

worin $\cos \tau_0 = -\text{tang } \delta_m \text{ tang } \varphi$ ist, das folgende Schema (Tabelle 1, S. 19):

Da dem Sommer der Nordhemisphäre der Winter der Südhemisphäre und dem Winter der Nordhemisphäre der Sommer der Südhemisphäre entspricht, ist also die mittlere Sonnenlänge für Winter Süd $L = 45-135^\circ$ und für Sommer Süd $L = 225-315^\circ$ und es ändert sich daher in der Berechnung der mittleren Sonnendeklination (δ_m) nichts, das δ_m der Nordhemisphäre gilt auch für die Südhemisphäre. Nur bei der damit berechneten Bestrahlung sind für die südliche Hemisphäre die geographischen Breiten negativ zu nehmen, so daß also im Winter der südlichen Hemisphäre $\cos \tau_0$ positiv und das Glied $\sin \delta \sin \varphi$ negativ und im Sommer $\cos \tau_0$ negativ und $\sin \delta \sin \varphi$ positiv wird, wie es im Sommer und Winter auf der Nordhemisphäre der Fall ist. Die halben Tagbogen τ_0 ergänzen sich im Norden und Süden zu $\pi = 3 \cdot 1416$.

Tabelle I.

Sommer. $\delta_m = 22^\circ 12'$ $\sin \delta_m = 9.5773$ $\cos \delta_m = 9.9666$ $\tan \delta_m = 9.6108$

Nr. 114.

φ	$\log \cos \tau_0$	τ_0	$\text{arc } \tau_0$	$\log \sin \tau_0$	$\log \text{arc } \tau_0$	$\log \frac{\sin \tau_0}{\text{arc } \tau_0}$	$\log \cos \delta$ $\cos \varphi$	χ	Num. 1	$\log \sin \delta$ $\sin \varphi$	Num. 2	$\cos z_0$	Jetzt	$\frac{\Delta}{\text{Einst-}}$ jetzt)
60° N	9.8494 _n	$134^\circ 59'$	2.3559	9.8496	0.3732	9.4774	9.6656	9.1430	0.1390	9.5148	0.3272	0.4662	0.4626	+ 0.0036
45°	9.6108 _n	$114^\circ 5'$	1.9911	9.9604	0.2991	9.6613	9.8161	9.4774	0.3002	9.4268	0.2672	0.5674	0.5643	+ 31
30°	9.3722 _n	$103^\circ 38'$	1.8087	9.9876	0.2573	9.7303	9.9041	9.6344	0.4309	9.2763	0.1889	0.6198	0.6187	+ 11
0°	— ∞	$90^\circ 0'$	1.5708	0.0000	0.1961	9.8039	9.9666	9.7705	0.5895	— ∞	0.0000	0.5895	0.5939	— 44
30°			1.3329	9.9876	0.1248	9.8628	9.9041	9.7669	0.5847		— 0.1889	0.3958	0.4049	— 91
45°			1.1505	9.9604	0.0699	9.8995	9.8161	9.7156	0.5195		— 0.2672	0.2523	0.2632	— 109
60° S			0.7857	9.8496	9.8953	9.9543	9.6656	9.6199	0.4168		— 0.3272	0.0896	0.1015	— 119

Winter. $\delta_m = -21^\circ 25'$ $\sin \delta_m = 9.5625$ $\cos \delta_m = 9.9689$ $\tan \delta_m = 9.5935$

60° N	9.8321	$47^\circ 12'$	0.8238	9.8655	9.9158	9.9497	9.6679	9.6176	0.4146	9.5000 _n	— 0.3162	0.0984	0.1112	— 0.0128
45°	9.5935	$66^\circ 55'$	1.1679	9.9638	0.0674	9.8964	9.8184	9.7148	0.5186	9.4120 _n	— 0.2582	0.2604	0.2719	— 115
30°	9.3549	$76^\circ 55'$	1.3425	9.9886	0.1280	9.8606	9.9064	9.7670	0.5848	9.2615 _n	— 0.1826	0.4022	0.4120	— 98
0°	9.3549	$76^\circ 55'$	1.5708	0.0000	0.1961	9.8039	9.9689	9.7728	0.5927	— ∞	0.0000	0.5927	0.5972	— 45
30°	— ∞	$90^\circ 0'$	1.7991	9.9886	0.2550	9.7336	9.9064	9.6400	0.4365		0.1826	0.6191	0.6176	+ 15
45°			1.9737	9.9638	0.2952	9.6686	9.8184	9.4870	0.3069		0.2582	0.5651	0.5613	+ 38
60° S			2.3178	9.8655	0.3651	9.5004	9.6679	9.1683	0.1473		0.3162	0.4635	0.4592	+ 43

Es kann daher mit vielen Vereinfachungen die Berechnung der Bestrahlung der Nordhemisphäre über den Äquator auf die Südhemisphäre fortgesetzt werden. Man ersieht dies am besten an dem Beispiele.

Die Differenzen der Bestrahlung Eiszeit—Gegenwart im Sommer bzw. Winter der Nordhemisphäre setzen sich in analogen Differenzen im Winter bzw. Sommer der Südhemisphäre fort, so daß die Bestrahlungsverhältnisse der südlichen Hemisphäre nicht wesentlich von jenen der nördlichen Hemisphäre verschieden sind und es daher erübrigt, für die südliche Hemisphäre eigene Bestrahlungskurven zu berechnen.

V. Die Bestrahlungsverhältnisse in der gegenwärtigen Zeit

Um die eiszeitlichen Bestahlungsergebnisse besser beurteilen zu können, wird man sie am besten mit den gegenwärtigen Verhältnissen vergleichen. Es wurden daher auch die Bestrahlungen in der Gegenwart berechnet. Dabei wurden die folgenden Erdbahnelemente zugrunde gelegt:

$$\Pi = 280^\circ 22', \quad e = 0.01677, \quad \epsilon = 23^\circ 27'.$$

Das Ergebnis enthält die folgende kleine Tabelle, welche auch die Bestrahlungen für die südliche Hemisphäre gibt.

Tabelle 2. Die gegenwärtigen Bestrahlungen

N	Sommer	Winter	Jahr
60°	0.4612	0.1112	0.2869
45°	0.5643	0.2719	0.4181
30°	0.6187	0.4120	0.5154
0°	0.5939	0.5972	0.5956
30°	0.4049	0.6176	0.5113
45°	0.2632	0.5613	0.4123
60°	0.1015	0.4592	0.2804
S	Winter	Sommer	Jahr

Die Sommer und Winter beider Hemisphären sind nicht gleich bestrahlt, sie sind auf der nördlichen Hemisphäre etwas wärmer als auf der südlichen:

Tabelle 3. Δ (Nord—Süd)

Br.	Sommer	Winter	Jahr
60°	+ 0.0034	+ 0.0097	+ 0.0065
45°	+ 30	+ 87	+ 58
30°	+ 11	+ 71	+ 41
0°	— 33	+ 33	0

Es hätte demnach das südliche Polargebiet gegenwärtig eine viel geringere Bestrahlung als das nördliche Polargebiet.

Geht man im Sommer der Nordhemisphäre zum Äquator, so ist derselbe etwas kühler, als wenn er vom Winter aus erreicht wird, wo er dann

etwas wärmer ist. Die Ursache dafür wird ganz offenkundig bei der Betrachtung der Bestrahlungen bei den Extremen der Exzentrizität und den beiden Extremen der Schiefe der Ekliptik zu ersehen sein. Es sei davon nur das Folgende angeführt: Der Sommer Nord hat bei $\Pi = 270^\circ$ beim Maximum und Minimum der Schiefe eine größere Bestrahlung als bei $\Pi = 90^\circ$, am Äquator und auf der südlichen Hemisphäre aber umgekehrt eine geringere. Im Winter Nord ist dies aber nur beim Minimum der Schiefe der Fall, aber auch noch am Äquator.

Da nun gegenwärtig $\Pi = 280^\circ$, also nahe bei $\Pi = 270^\circ$ ist, ist es klar, daß die Sommer der Nordhemisphäre wärmer als die der Südhemisphäre sein müssen. Da ferner das Maximum der Schiefe $\epsilon = 27^\circ 48'$ und das Minimum $\epsilon = 20^\circ 34'$, daher im Mittel $\epsilon = 24^\circ 11'$ beträgt, gegenwärtig aber $\epsilon = 23^\circ 27'$ ist, liegt es näher beim extremen Minimum und es gilt daher das oben für das Minimum im Winter Gesagte, so daß also auch die Winter der Nordhemisphäre gegenwärtig wärmer als die der Südhemisphäre sind. Demnach ist auch die mittlere Jahrestemperatur der Nordhemisphäre etwas höher als die der Südhemisphäre.

Dies wird sich aber im Laufe der Zeit mit der Veränderung des Perihels ändern und bei $\Pi = 90^\circ$ werden gerade die entgegengesetzten Verhältnisse der gegenwärtigen Zeit vorhanden sein. Deswegen ist es aber nicht notwendig für die südliche Hemisphäre eigene Bestrahlungskurven zu berechnen, weil im Laufe der Eiszeit sich die Exzentrizität und Schiefe der Ekliptik nicht so stark verändert haben, als wie es bei den Extremen noch gezeigt wird.

VI. Die periodischen Veränderungen der Erdbahnelemente

Über dieses Thema haben schon einige große Mathematiker des vorigen Jahrhunderts eingehende Untersuchungen angestellt. Einer der ersten war wohl Lagrange⁶⁾, welcher in den Jahren 1781/82 die Formeln für die säkularen Veränderungen der Schiefe der Ekliptik entwickelt hat, und Schubert⁷⁾ hat die mühsamen Rechnungen über die Perioden sowie Maxima und Minima dieser Störungen durchgeführt. Er fand folgende Maxima und Minima der Schiefe der Ekliptik:

Max.	29 958 v. Chr.	27° 48'
Min.	14 917 v. Chr.	20° 44'
Max.	2 167 v. Chr.	23° 53'
Min.	6 664 n. Chr.	22° 53'
Max.	19 774 n. Chr.	25° 55'
Min.	34 986 n. Chr.	20° 34'

Es ergeben sich also Perioden von 21 000—28 000 Jahren und innerhalb der untersuchten Zeit würde die Schiefe der Ekliptik zwischen den Grenzen 27° 48' und 20° 34' schwanken. Die absoluten Grenzen aber sind 28° 52' und 18° 6'.

Auf Grund einer Formel von J. N. Stockwell aus dem Jahre 1868, aber noch ohne Berücksichtigung des Einflusses von Uranus und Neptun, hat im Jahre 1880 R. W. Farland⁸⁾ die Störungen des Perihels und die Exzentrizität für einen Zeitraum von 4 520 000 Jahren, und zwar 3 260 000 Jahre vor 1850 und 1 260 000 Jahre nach 1850 von 10 000 zu 10 000 Jahren berechnet. Diese Werte finden sich auch bei C. L. Charlier⁹⁾ in seiner Abhandlung über die Eiszeit für die Zeit zwischen 300 000 Jahren vor und 100 000 Jahren nach dem Jahre 1850 von 10 000 zu 10 000 Jahren.

Mit diesen Angaben haben wir in „Das Klima des Eiszeitalters“^{4a)} für die letzten 300 000 Jahre die kalten und warmen Perioden berechnet und eine Gliederung der Eiszeit in diesem Zeitabschnitte gegeben. Erst später kam uns die Abhandlung von Farland zur Hand, so daß wir im 2. Teile des Buches die ganze Eiszeit behandeln konnten.

Auf Grund einer späteren Abhandlung von J. N. Stockwell¹⁰⁾ (1873) mit Rücksicht auf alle 8 Planeten hat L. Pilgrim¹¹⁾ die Berechnung der Erdbahnelemente durchgeführt von 1 010 000 bis zur Gegenwart.

Diese Erdbahnelemente haben auch wir unseren neuen Berechnungen über die Bestrahlungsverhältnisse in der Eiszeit zugrunde gelegt. Da aber unsere Berechnungen von 1 361 000 an begannen, mußten für die Zeit vor 1 010 000 für $\Pi = 90^\circ$ und 270° die dazugehörigen Exzentrizitäten nach

Farland verwendet werden und als Schiefe der Ekliptik wurde in dieser Zeit durchwegs der gegenwärtige Wert von $\epsilon = 23^\circ 27'$ angenommen, wie er auch damals ungefähr im Mittel gewesen sein dürfte.

Da der Übergang von Farland zu Pilgrim an der Grenze etwas unsicher ist, wurde für $\Pi = 270^\circ$ nach Farland 1 009 700 und Pilgrim 1 002 900 das Mittel 1 006 330 angenommen, die Farlandschen Jahre sind nämlich um 6800 Jahre früher als die Pilgrims.

Bei Pilgrim sind die Längen der Erdbahnperihele, bei Farland hingegen die des Perigäums in der scheinbaren Sonnenbahn gegeben, daher um 180° verschieden.

Obwohl es seine Bedenklichkeit hat, die Auswertung dieser Formeln über Veränderungen des Perihels, der Exzentrizität und Schiefe der Ekliptik auf so große Zeiträume auszudehnen, so mußte man sich doch zufrieden geben, dafür wenigstens einige Anhaltspunkte zu haben, um halbwegs bessere Zeitangaben in der geologischen Vorzeit zu haben, als es auf Grund ganz unsicherer Schätzungen der Fall war.

Es wäre unzweifelhaft ein großes Verdienst der Astronomen, an Hand der seither verbesserten Hilfsmittel und der besseren Kenntnis der Massen der 8 Hauptplaneten diese Formeln neu zu bearbeiten und dann dieselben für die Dauer der Eiszeit auszuwerten.

VII. Die Extreme der Bestrahlung

Nach den älteren Berechnungen der Erdbahnelemente wurde die Veränderlichkeit der Schiefe der Ekliptik zwischen den Grenzen $\epsilon = 27^\circ 48'$ und $20^\circ 34'$ angenommen und als Maximum der Exzentrizität gilt $e = 0.07775$ und als Minimum $e = 0$ (Kreisbahn).

Da in der geologischen Vorzeit zeitweilig auch diese Größen eingetreten sein können, wurden nach unserer neuen Formel auch die Bestrahlungen für diese Extreme berechnet, weil sie vielleicht auch sonst sehr lehrreich sind. Sie wurden auch für die südliche Hemisphäre ausgedehnt.

Die folgenden Tabellen 4—10 enthalten diese Ergebnisse, unter ΔS sind die Abweichungen der Bestrahlung Eiszeit—Gegenwart angegeben.

Tabelle 4. Bestrahlungen bei $e = 0.07775$

Breite	Sommer Nord									
	$\Pi = 90^\circ$				$\Pi = 270^\circ$				$\Delta (\Pi = 90^\circ - \Pi = 270^\circ)$	
	ϵ Max.		ϵ Min.		ϵ Max.		ϵ Min.		ϵ Max.	ϵ Min.
N	Bestr.	ΔS	Bestr.	ΔS	Bestr.	ΔS	Bestr.	ΔS	Bestrahlung	
60°	0.4707	+ 0.0081	0.4478	- 0.0148	0.4728	+ 0.0102	0.4534	- 0.0092	- 0.0021	- 0.0056
45°	0.5722	+ 71	0.5522	- 121	0.5758	+ 115	0.5566	- 77	- 36	- 44
30°	0.6209	+ 22	0.6139	- 48	0.6216	+ 29	0.6158	- 29	- 7	- 19
0°	0.5820	- 119	0.6062	+ 123	0.5745	- 194	0.6022	+ 83	+ 75	+ 40
30°	0.3804	- 245	0.4324	+ 275	0.3664	- 385	0.4231	+ 182	+ 140	+ 93
45°	0.2345	- 287	0.2966	+ 334	0.2178	- 454	0.2852	+ 220	+ 167	+ 114
60°	0.0700	- 315	0.1387	+ 372	0.0516	- 499	0.1259	+ 244	+ 184	+ 128
S	Winter Süd									

Tabelle 5. Bestrahlungen bei $e = 0.07775$

Breite	Winter Nord									
	$\Pi = 90^\circ$				$\Pi = 270^\circ$				$\Delta (\Pi = 90^\circ - \Pi = 270^\circ)$	
	ϵ Max.		ϵ Min.		ϵ Max.		ϵ Min.		ϵ Max.	ϵ Min.
N	Bestr.	ΔS	Bestr.	ΔS	Bestr.	ΔS	Bestr.	ΔS	Bestrahlung	
60°	0.0680	- 0.0432	0.1123	+ 0.0011	0.0635	- 0.0477	0.1341	+ 0.0229	+ 0.0045	- 0.0218
45°	0.2328	- 391	0.2728	+ 9	0.2285	- 434	0.2924	+ 225	+ 43	- 196
30°	0.3790	- 330	0.4127	+ 7	0.3753	- 367	0.4290	+ 170	+ 37	- 163
0°	0.5812	- 160	0.5976	+ 4	0.5793	- 179	0.6048	+ 76	+ 19	- 72
30°	0.6211	+ 35	0.6176	+ 1	0.6212	+ 36	0.6147	- 29	- 1	+ 29
45°	0.5725	+ 112	0.5613	- 3	0.5735	+ 122	0.5538	- 75	- 10	+ 75
60°	0.4711	+ 119	0.4592	- 3	0.4717	+ 125	0.4499	- 93	- 6	+ 93
S	Sommer Süd									

Tabelle 6. Bestrahlungen bei $\epsilon = 0$ (Kreisbahn)

Breite	Sommer Nord				Winter Nord				Jahr Nord			
	ϵ Max.		ϵ Min.		ϵ Max.		ϵ Min.		ϵ Max.		ϵ Min.	
	Bestr.	ΔS										
60°	0·4722	+ 0·0096	0·4510	- 0·0116	0·0597	- 0·0515	0·1315	+ 0·0203	0·2660	- 0·0209	0·2913	+ 0·0044
45°	0·5743	+ 100	0·5547	- 96	0·2252	- 467	0·2900	+ 181	0·3998	- 183	0·4224	+ 43
30°	0·6212	+ 25	0·6150	- 37	0·3725	- 395	0·4274	+ 154	0·4969	- 185	0·5212	+ 58
0°	0·5778	- 161	0·6040	+ 101	0·5778	- 194	0·6040	+ 68	0·5778	- 178	0·6040	+ 84
30°	0·3725	- 324	0·4274	+ 225	0·6212	+ 36	0·6150	- 26	0·4969	- 180	0·5212	+ 99
45°	0·2252	- 380	0·2900	+ 268	0·5743	+ 130	0·5547	- 66	0·3998	- 169	0·4224	+ 101
60°	0·0597	- 418	0·1315	+ 300	0·4722	+ 130	0·4510	- 82	0·2660	- 193	0·2913	+ 109
S	Winter Süd				Sommer Süd				Jahr Süd			

Tabelle 7. Jährliche Bestrahlungen

Breite	Jahr Nord									
	$\Pi = 90^\circ$				$\Pi = 270^\circ$				$\Delta (\Pi = 90^\circ - \Pi = 270^\circ)$	
	ϵ Max.		ϵ Min.		ϵ Max.		ϵ Min.		ϵ Max.	ϵ Min.
N	Bestr.	ΔS	Bestr.	ΔS	Bestr.	ΔS	Bestr.	ΔS	Bestrahlung	
60°	0·2694	- 0·0175	0·2801	- 0·0068	0·2682	- 0·0187	0·2938	+ 0·0069	+ 0·0012	- 0·0137
45°	0·4025	- 156	0·4125	- 56	0·4022	- 159	0·4245	+ 64	+ 3	- 120
30°	0·5000	- 154	0·5133	- 21	0·4985	- 169	0·5224	+ 70	+ 15	- 91
0°	0·5816	- 140	0·6019	+ 63	0·5769	- 187	0·6035	+ 79	+ 47	- 16
30°	0·5008	- 105	0·5250	+ 137	0·4938	- 175	0·5189	+ 76	+ 70	+ 61
45°	0·4035	- 88	0·4290	+ 167	0·3957	- 166	0·4195	+ 72	+ 78	+ 95
60°	0·2705	- 99	0·2990	+ 186	0·2617	- 187	0·2879	+ 75	+ 88	+ 111
S	Jahr Süd									

Tabelle 8. Vergleichung der Sommer und Winter beider Hemisphären bei $\Pi = 90^\circ$

Breite	$\Pi = 90^\circ$					
	ϵ Max.			ϵ Min.		
	Sommer		Δ	Winter		Δ
	Nord	Süd	N-S	Nord	Süd	N-S
60°	0·4707	0·4711	- 0·0004	0·0680	0·0700	- 0·0020
45°	0·5722	0·2725	- 3	0·2328	0·2345	- 17
30°	0·6209	0·6211	- 2	0·3790	0·3804	- 14
0°	0·5820	0·5812	+ 8	0·5812	0·5820	- 8
Breite	$\Pi = 90^\circ$					
60°	0·4478	0·4592	- 0·0114	0·1123	0·1387	- 0·0264
45°	0·5522	0·5613	- 91	0·2728	0·2966	- 238
30°	0·6139	0·6176	- 37	0·4127	0·4324	- 197
0°	0·6062	0·5976	+ 86	0·5976	0·6062	- 86

Tabelle 9. Vergleich der Sommer und Winter beider Hemisphären bei $\Pi = 270^\circ$

Breite	$\Pi = 270^\circ$			ε Max.		
	Sommer		Δ N-S	Winter		Δ N-S
	Nord	Süd		Nord	Süd	
60°	0·4728	0·4717	+ 0·0011	0·0635	0·0516	+ 0·0119
45°	0·5758	0·5735	+ 23	0·2285	0·2178	+ 107
30°	0·6216	0·6212	+ 4	0·3753	0·3664	+ 89
0°	0·5745	0·5793	— 48	0·5793	0·5745	+ 48
Breite	$\Pi = 270^\circ$			ε Min.		
60°	0·4534	0·4499	+ 0·0035	0·1341	0·1259	+ 0·0082
45°	0·5566	0·5538	+ 28	0·2924	0·2852	+ 72
30°	0·6158	0·6147	+ 11	0·4290	0·4231	+ 59
0°	0·6022	0·6048	— 26	0·6048	0·6022	+ 26

Tabelle 10. Vergleich der jährlichen Bestrahlungen
Jahr

Breite	$\Pi = 90^\circ$ ε Max.			ε Min.		
	Nord	Süd	Δ N-S	Nord	Süd	Δ N-S
60°	0·2694	0·2705	— 0·0011	0·2801	0·2990	— 0·0189
45°	0·4025	0·4035	— 10	0·4125	0·4290	— 165
30°	0·5000	0·5008	— 8	0·5133	0·5250	— 117
0°	0·5816	0·5816	0	0·6019	0·6019	0
Breite	$\Pi = 270^\circ$ ε Max.			ε Min.		
60°	0·2682	0·2617	+ 0·0065	0·2938	0·2879	+ 0·0059
45°	0·4022	0·3957	+ 65	0·4245	0·4195	+ 50
30°	0·4985	0·4938	+ 47	0·5224	0·5189	+ 35
0°	0·5769	0·5769	0	0·6035	0·6035	0

Dieselben sprechen wohl für sich selbst, so daß eine eingehende Diskussion sich erübrigt. Man ersieht daraus den großen Unterschied in den Bestrahlungen bei den Extremen der Erdbahnelemente auf beiden Hemisphären.

Auch der Vergleich der Temperaturen der Sommer und Winter beider Hemisphären ist sehr lehrreich. Bei $\Pi = 90^\circ$ sind beim Maximum und Minimum der Schiefe die Sommer der Nordhemisphäre kälter als die der Südhemisphäre, während bei $\Pi = 270^\circ$ gerade das Gegenteil der Fall ist. Dies zeigt sich auch in den mittleren Jahrestemperaturen.

Bei $e = 0$ (Kreisbahn), weil hier ein Perihel und Aphel fehlen, treten keine solchen Unterschiede auf.

VIII. Umrechnung der Bestrahlung in Temperaturgrade

Wir haben uns immer viele Mühe gegeben den Umrechnungsfaktor von Bestrahlung in Temperaturgraden zu finden. Er erschien uns aber immer zu klein gegenüber den Temperaturangaben der Glazialgeologen für die Temperaturschwankungen während der einzelnen Phasen der Glazialzeiten, aber es wäre doch zu bedenken, daß eine an und für sich kleine Änderung der Sommer- und Wintertemperatur im Laufe der Jahrtausende schließlich sich so ausgewirkt habe, als wenn die gefundene Glazialerscheinung durch eine größere Temperaturänderung hervorgebracht worden wäre. Es lagen ja nur die ungeheuer großen Glazialschotter vor, die aber in vielen Tausenden von Jahren angehäuft und in der langen Zeit vielfach verwischt wurden, wie es auch Penck und Brückner für die Moränen der Günz- und Mindel-Eiszeit zugeben. Ersterer glaubte im Jahre 1906 die eiszeitliche Temperaturerniedrigung auf 2 bis 3° schätzen zu können, während er später bis auf 8° hinaufging. Man sieht also wie unsicher diese Schätzungen sind.

Schon vor längerer Zeit haben wir auf Grund der Bestrahlungsformeln von Hopfner, die unseren wahren sehr nahe kommen, und der mittleren Temperaturen der Breitenkreise im Januar, Juli und Jahr nach Hanns Isothermenkarten für das Festland die Formel gefunden^{4a)}:

$$t_{\varphi} = -37.54 + 146.55 S.$$

Diese Formel gestattete mit dem Gliede für das Wasser die Temperaturen der Breitenkreise mit Rücksicht auf die auf denselben vorhandene Land- und Wasserverteilung mit großer Annäherung darzustellen.

Dieselbe konnte aber später ^{4e)} für einen beliebigen Erdort in die einfache Formel

$$t_{\varphi} = A + c S$$

umgewandelt werden, worin also A die Wärmeausstrahlung und c S die Wärmeeinstrahlung bedeuten. Die beiden Konstanten A und c können aus den 12 Monatstemperaturen des betreffenden Ortes und den denselben entsprechenden Bestrahlungen nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt werden und gelten daher für das Jahresmittel der Temperatur.

So ergab sich für Prag (1875—1934) $\varphi = 50^{\circ} N$

$$t_{\varphi} = -9.39 + 57.52 S,$$

während nach Hopfners mittleren Monatstemperaturen nach Buchans Isothermenkarten sich für $\varphi = 50^{\circ} N$

$$t_{\varphi} = -15.89 + 67.22 S$$

find.

Für den asiatischen Kältepol (60°N , 130°ö. Gr.) ergab sich mit den gleichen Grundlagen

$$t \varphi = -42.43 + 139.81 \text{ S.}$$

Da aber in Hopfners Bestrahlungsformel und meiner neuen die Einheit der Bestrahlung etwas verschieden ist, so daß sich im Jahresmittel für den Äquator nach Hopfner die Bestrahlung $S = 0.5018$, nach Spitaler aber zu $S = 0.5956$ ergibt, also im Verhältnis von $1 : 1.1869$, so daß also in 50°Br. nach Hopfner $c = 56.64$ wäre, also in guter Übereinstimmung mit dem von uns für Prag gefundenen Wert $c = 57.52$.

In der Eiszeit ergab sich bei $e = 0.07775$, $\epsilon = 27^\circ 48'$ in 45°n. Br. bei $\Pi = 90^\circ$ im Jahresmittel als Differenz der Bestrahlung gegenüber der Gegenwart $\Delta S = -0.0156$ und bei $\Pi = 270^\circ$ $\Delta S = -0.0159$ und das gäbe daher mit dem Umrechnungsfaktor $c = 57.52$ -0.90° bzw. -0.92° , hingegen mit dem eben genannten Umrechnungsfaktor $c = 146.55$ 2.28° bzw. 2.30° . Im Winter aber ist bei $\Pi = 90^\circ$ $\Delta S = -0.0391$ und bei $\Pi = 270^\circ$ $\Delta S = -0.0434$, das gäbe schon Temperaturänderungen von -2.25° und -2.47° bzw. von 5.72° und 6.38° !

Damit hat man doch einen beiläufigen Maßstab für die Bestrahlungsdifferenzen in Temperaturgraden in der Eiszeit.

IX. Die Nachwirkung der Winter- und Sommer-temperaturen in den Frühling und Herbst

Schon in dem Buche „Das Klima des Eiszeitalters“ wurde darauf hingewiesen, daß die Frühlinge eine niedrigere, die Herbste aber eine höhere Temperatur zeigen, als sie nach der Sonnenbestrahlung haben sollten, und dies wurde später auf Grund der Bestrahlungsformeln von Hopfner näher untersucht^{4f)}.

Wir fanden aber bald darauf eine bedeutende Vereinfachung dieser Untersuchung. Wie schon in dem vorausgehenden Abschnitte gezeigt wurde, kann die mittlere Temperatur eines Ortes zu beliebiger Zeit durch die Formel dargestellt werden:

$$t\varphi = A + cS,$$

worin A und c zwei Konstante und S die jeweilige mittlere solare Bestrahlung darstellen. Erstere können aus den 12 Monatstemperaturen nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt werden. Berechnet man sich dann mit denselben die Monatstemperaturen, so zeigt sich, daß die Ergebnisse im Frühlinge größer, im Herbste aber kleiner sind als die beobachteten Werte, daß sie also nicht mit den Bestrahlungen parallel gehen.

Als Beispiel sei das Ergebnis aus den Monatstemperaturen im Mittel aus 10 Orten Deutschlands für 1870—1923 nach F. Baur¹²⁾ angeführt.

Tabelle 11.

Monat	Beob.	Ber.	B-R	R'	B-R'
Januar	−0·6°	0·5°	− 1·1°	− 0·6°	0·0°
Februar	0·5°	4·0°	− 3·5°	1·0°	− 0·5°
März	3·7°	8·5°	− 4·8°	4·5°	− 0·8°
April	8·0°	12·5°	− 4·5°	8·5°	− 0·5°
Mai	12·9°	15·2°	− 2·3°	12·2°	0·7°
Juni	16·4°	16·2°	0·2°	15·1°	1·3°
Juli	18·0°	15·7°	2·3°	16·8°	1·2°
August	17·2°	13·6°	3·6°	16·6°	0·6°
September	13·7°	10·0°	3·7°	14·0°	− 0·3°
Oktober	8·6°	5·5°	3·1°	9·5°	− 0·9°
November	3·6°	1·4°	2·2°	4·4°	− 0·8°
Dezember	0·5°	− 0·5°	1·0°	0·6°	− 0·1°
Jahr	8·5°	8·5°	0·0°	8·5°	0·0°

Daraus ergab sich

$$t\varphi = - 8·54 + 52·94 S.$$

Die Differenzen (B—R) in der Tabelle geben die Abkühlung der Luft im Frühlinge bzw. Erwärmung im Herbst gegenüber den berechneten Temperaturen. Dieselben zeigen offenkundig den Verlauf einer Sinuskurve. Beginnt dieselbe mit 1. Januar, so ist der Abstand davon in Länge (L) Mitte Januar 15°, Mitte Februar 45°, Mitte März 75°, Mitte April 105°, Mitte Mai 135°, Mitte Juni 165° usw. Die Sinusse der Abstände vom 1. Januar sind: 0·2588, 0·7071, 0·9659, 0·9659, 0·7071, 0·2588 usw. mit entgegengesetzten Vorzeichen, und ihre Summe ohne Rücksicht auf das Vorzeichen ist 7·7272. Bildet man auch die Summen der monatlichen Temperaturabweichungen (B—R) ohne Rücksicht auf das Vorzeichen, d. i. 32·3° und dividiert den Betrag durch 7·7272, so bekommt man die Amplitude der Kurve oder den Faktor $\gamma = 4·17$, welcher in die Formel eingesetzt

$$t = -8·54 + 52·94 S - 4·17 \sin L,$$

die mittleren Monatstemperaturen auch mit Rücksicht auf die frühjährliche und herbstliche Abkühlung und Erwärmung gibt; sie sind in der Tabelle unter R' mit den übrigbleibenden Resten B—R' angeführt. Letztere sind so unbedeutend, daß sie wohl dieser einfachen Annahme und den Fehlern in den Monatstemperaturen zugeschrieben werden dürfen. Sie würden sich vielleicht etwas verändern, wenn alle 3 Konstanten nach der Methode der kleinsten Quadrate aus den 12 Monaten berechnet würden.

Die Brauchbarkeit dieser Formel hat sich in einer großen Anzahl von Berechnungen in allen verschiedenen Klimaten bestätigt^{4e)}.

Damit ist nun wohl auch hinlänglich gezeigt, daß diese Nachwirkungen besonders in den kalten Wintern der Eiszeit in das Frühjahr hinein von großem Einfluß gewesen sein müssen.

X. Ein Versuch, Isothermenkarten des Winters und Sommers für Europa und Sibirien in der Eiszeit zu zeichnen

In den Abhandlungen über die Wärmeein- und -ausstrahlung auf der Erde^{4e-g)} wurde gezeigt, daß die mittleren Monatstemperaturen eines Ortes durch die Formel

$$t\varphi = A + c S$$

dargestellt werden können, worin A und c konstante Größen bedeuten; S ist die mittlere tägliche Bestrahlung im betreffenden Monat, also c S die Wärmeeinstrahlung, während A die Wärmeausstrahlung ergibt. Diese beiden Konstanten sind in den einzelnen Monaten etwas verschieden. Berechnet man aber dieselben aus den 12 Monaten nach der Methode der kleinsten Quadrate, so zeigt dann damit die Berechnung der Monatstemperaturen, daß die Wintertemperaturen noch in den Frühling hinein und die Sommertemperaturen in den Herbst hinein nachwirken^{4h)}, wie auch schon im vorausgehenden Abschnitte näher gezeigt wurde.

Diese Korrekturen der Monatstemperaturen können durch ein Glied $\gamma \sin L$ bestimmt werden, wenn L den Längenabstand der Monatsmitte vom 1. Januar und γ eine Konstante bedeuten, so daß also die Formel lautet:

$$t\varphi = A + c S - \gamma \sin L .$$

Berechnet man sich aber die Konstanten A und c aus den mittleren Sommer- und Wintertemperaturen des betreffenden Ortes, so fallen diese Korrekturen fast ganz weg und man hat daher für die Sommertemperaturen $t\varphi = A + c S$, und für die Wintertemperaturen $t\varphi = A + c S'$, worin S und S' die mittleren täglichen Bestrahlungen im Sommer und Winter darstellen. Man erhält daraus das A und c als Mittelwerte für Sommer und Winter. Dieselben sind für Orte verschiedenen Klimas und verschiedener Seehöhen verschieden; c ist in ozeanischen Gebieten sehr klein und kann sogar negativ werden; je kontinentaler aber ein Ort ist, desto größer wird es und erreicht in Sibirien (Werchojansk) sogar 164°.

Macht man nun die vielleicht etwas gewagte Annahme, daß an einem Orte auch in der Eiszeit die beiden Konstanten dieselben wie gegenwärtig waren, so hat man für Winter und Sommer:

$$\begin{array}{ll} \text{Gegenwärtig:} & t\varphi = A + c S \\ \text{Eiszeit:} & t'\varphi = A + c S', \end{array}$$

worin jetzt $t\varphi$ und $t'\varphi$ die mittleren Sommer- bzw. Wintertemperaturen und S und S' die mittleren jahreszeitlichen Bestrahlungen in der Gegenwart und Eiszeit bedeuten.

Man erhält demnach

$$t\varphi - t'\varphi = c(S - S')$$

und kann für einen Ort die Temperaturänderung aus der Bestrahlungsänderung bestimmen.

Es hat nun seinerzeit mein Schüler Fr. Hopfner^{2d)} aus A. Buchans Isothermenkarten im Challenger Report für die Schnittpunkte der 10 Längen- und Breitenkreise für alle Monate die Temperaturen ermittelt und dieselben in Celsiusgrade umgerechnet, da sie in Buchans Karten nach Fahrenheitgraden gegeben sind. Diese Tabellen hat er mir damals gütigst überlassen.

Es wurden nun mit diesen Tabellen für alle Schnittpunkte von Europa und Sibirien die Winter- (Dezember, Januar und Februar) und Sommer-temperaturen (Juni, Juli und August) bestimmt, womit für die Gegenwart Winter- und Sommerisothermen dieser Gebiete gezeichnet werden können. Es seien der Einfachheit halber nur die beiden Tabellen und das sich daraus ergebende *c* für alle Schnittpunkte angeführt (Tabelle 12 und 13).

Tabelle 12.

Gegenwärtige Sommer- und Wintertemperaturen sowie Konstante *c* für Europa (° C)

Breite	Länge	20°	10°	0° Gr.	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
		W v. Gr.	W v. Gr.		E v. Gr.						
80° N	S	0.2	0.2	0.5	1.3	1.9	2.1	1.8	1.0	0.1	- 0.1
	W	-28.9	-26.6	-24.2	-22.5	-21.6	-20.5	-21.5	-24.0	-26.0	-27.4
	S-W	29.1	26.8	24.7	23.8	22.9	22.6	23.3	25.0	26.1	27.3
	c	81.95	75.47	69.56	67.02	64.49	63.64	65.62	70.40	73.50	76.88
70° N	S	3.4	3.5	5.1	6.8	9.2	9.3	7.2	6.2	5.2	5.3
	W	- 8.8	- 5.9	- 4.0	- 2.2	- 3.2	- 8.1	-10.5	-15.1	-19.7	-23.4
	S-W	12.2	9.4	9.1	9.0	12.4	17.4	17.7	21.3	24.9	28.7
	c	33.99	26.19	25.36	25.08	34.55	48.48	49.32	59.35	69.38	79.97
60° N	S	10.8	11.6	12.3	15.0	15.0	15.8	16.6	16.3	16.0	16.8
	W	3.3	3.7	3.9	- 2.5	- 4.0	- 7.4	-10.2	-12.5	-15.2	-19.5
	S-W	7.5	7.9	8.4	17.5	19.0	23.2	26.8	28.8	31.2	36.3
	c	21.34	22.48	23.90	49.80	54.07	66.02	76.27	81.96	88.79	103.30
50° N	S	15.0	15.8	17.0	18.7	19.6	19.9	20.6	21.5	22.3	22.3
	W	9.3	8.8	5.0	1.9	- 1.1	- 3.9	- 7.0	- 9.9	-13.0	-13.3
	S-W	5.7	7.0	12.0	16.8	20.7	23.8	27.6	31.4	35.3	35.6
	c	18.04	22.16	37.99	53.18	65.53	75.34	87.37	99.40	111.74	112.69
40° N	S	21.5	21.5	24.8	25.0	24.9	25.5	27.2	26.8	29.4	31.0
	W	13.7	12.6	10.3	10.8	10.5	7.8	8.8	5.2	5.0	5.4
	S-W	7.8	8.9	14.5	14.2	14.4	17.7	18.4	21.6	24.4	25.6
	c	29.33	33.47	54.53	53.40	54.16	66.57	69.20	81.23	91.76	96.28
30° N	S	23.0	21.0	32.6	33.2	28.1	27.3	32.4	30.5	34.5	34.0
	W	18.1	17.1	17.0	16.9	16.8	16.0	17.1	15.0	16.7	15.5
	S-W	4.9	3.9	15.6	16.3	11.3	11.3	15.3	15.5	17.8	18.5
	c	23.71	18.87	75.47	78.86	54.67	54.67	74.02	74.99	86.12	89.50

Tabelle 13.

Gegenwärtige Sommer- und Wintertemperaturen sowie Konstante c für Sibirien ($^{\circ}$ C).

Breite	Länge	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°
		E v. Gr.						
70° N	S	6·8	7·2	7·5	8·2	8·8	8·6	7·8
	W	— 34·1	— 37·5	— 41·9	— 41·6	— 39·0	— 35·2	— 33·0
	S—W	40·9	44·7	49·4	49·8	47·8	43·8	40·8
	c	113·96	124·55	137·64	138·76	133·18	122·04	113·85
60° N	S	16·7	17·1	17·2	16·8	14·7	10·8	9·2
	W	— 24·5	— 27·3	— 30·8	— 32·5	— 24·2	— 21·6	— 18·1
	S—W	41·2	44·4	48·0	49·3	38·9	32·4	27·3
	c	117·25	126·35	136·60	140·30	110·70	92·20	77·69
50° N	S	22·6	22·6	22·3	20·7	17·2	13·4	13·8
	W	— 14·4	— 17·5	— 19·6	— 21·9	— 18·2	— 9·9	— 3·8
	S—W	37·0	46·1	41·9	42·6	35·4	23·3	17·6
	c	110·79	126·94	132·64	134·85	112·06	74·07	55·71
40° N	S	28·2	26·9	24·7	19·9	20·2	18·8	17·9
	W	0·1	— 2·3	— 5·2	— 2·3	— 0·5	0·9	2·8
	S—W	28·1	29·2	29·9	22·2	20·7	17·9	15·1
	c	105·68	109·82	112·45	83·49	77·85	67·32	56·79

Im Abschnitt XII sind für die ganze Eiszeit von halbem zu halbem Periheliumlauf neben den Zeiten, der jeweiligen Exzentrizität und Schiefe der Ekliptik die Unterschiede der Bestrahlungen Eiszeit—Gegenwart für die Breiten 0° , 30° , 45° und 60° angeführt.

Es könnten nun für alle Schnittpunkte der beiden Gebiete mit dem betreffenden Faktor c die Temperaturunterschiede Eiszeit—Gegenwart berechnet und dann eiszeitliche Isothermen gezeichnet werden. Das würde für einen Breitenkreis 132 solche Karten ergeben.

Wir haben uns daher entschlossen, nur für die Extreme der Bestrahlungsdifferenzen, wie sie in 45° Br. vorhanden sind, die Temperaturabweichungen der Eiszeit von der Gegenwart zu berechnen, nämlich für

$$\text{Sommer } 209\,400 \text{ vor } 1850 \text{ Perihel } \Delta S = + 0\cdot0031$$

$$\text{Sommer } 917\,900 \text{ vor } 1850 \text{ Aphel } \Delta S = - 0\cdot0054$$

$$\text{Winter } 231\,100 \text{ vor } 1850 \text{ Aphel } \Delta S = + 0\cdot0080$$

$$\text{Winter } 938\,600 \text{ vor } 1850 \text{ Perihel } \Delta S = - 0\cdot0174.$$

Die Bestrahlungsdifferenzen ΔS in den verschiedenen Breiten sind für die angeführten vier Zeiten in der Tabelle 14 a angegeben und die gegenwärtigen Bestrahlungen im Sommer und Winter und ihre Differenzen gibt die Tabelle 14 b.

Tabelle 14 a.

 Extreme Bestrahlungsdifferenzen Δ S Eiszeit—Gegenwart

Jahreszeit	Warme Sommer	Kalte Sommer	Warme Winter	Kalte Winter
Jahr vor 1850:	209 400	917 900	231 000	938 600
80° N	+ 0·0170	— 0·0244	—	—
70°	+ 103	— 212	—	—
60°	+ 70	— 62	+ 0·0090	— 0·0193
50°	+ 37	— 60	+ 84	— 180
40°	+ 27	— 41	+ 76	— 166
30°	+ 11	— 19	+ 66	— 149

Tabelle 14 b.

 Sommerliche und winterliche mittlere Bestrahlungen
in der Gegenwart

Breite N		S	Breite N		S
80°	S	0·3551	50°	S	0·5360
	W	—		W	0·2201
	Δ	0·3551		Δ	0·3159
70°	S	0·3589	40°	S	0·5873
	W	—		W	0·3214
	Δ	0·3589		Δ	0·2659
60°	S	0·4626	30°	S	0·6187
	W	0·1112		W	0·4120
	Δ	0·3514		Δ	0·2067

Mit dem für die Gegenwart berechneten konstanten Faktor c auf den Schnittpunkten der Längen- und Breitenkreise wurden die in den Tabellen 15 und 16 zusammengestellten Temperaturabweichungen in der Eiszeit gegenüber der Gegenwart gefunden. Damit könnten demnach Isothermen für die eiszeitlichen Verhältnisse gezeichnet werden, es genügt aber wohl der Anblick der Tabellen.

In extrem warmen Sommern übersteigt in Europa die Temperaturerhöhung im höchsten Norden 1°, während sie im übrigen Teil nur im äußersten Osten bis 0·8° ansteigt. In Sibirien sind diese Temperaturerhöhungen bedeutend größer, in 70° Br. über 1·4°.

Tabelle 15.

Abweichungen der Isothermen Eiszeit—Gegenwart in Europa (° C)

Breite	Länge	20°	10°	0° Gr.	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
		W v. Gr.	W v. Gr.		E v. Gr.						
Jahr vor 1850. a) Sommer 209 400. Aphel											
80° N		1·39	1·28	1·18	1·14	1·09	1·08	1·12	1·19	1·25	1·30
70°		0·35	0·27	0·26	0·26	0·36	0·49	0·50	0·61	0·71	0·82
60°		0·15	0·15	0·16	0·34	0·38	0·46	0·53	0·57	0·62	0·72
50°		0·06	0·08	0·13	0·20	0·24	0·28	0·32	0·36	0·41	0·42
40°		0·07	0·09	0·15	0·15	0·15	0·17	0·18	0·22	0·24	0·25
30°		0·02	0·02	0·09	0·09	0·06	0·06	0·08	0·08	0·10	0·10
Jahr vor 1850. b) Sommer 917 900. Perihel											
80° N		− 1·99	− 1·84	− 1·69	− 1·63	− 1·57	− 1·54	− 1·59	− 1·72	− 1·79	− 1·87
70°		− 0·72	− 0·55	− 0·54	− 0·53	− 0·73	− 0·03	− 1·05	− 1·26	− 1·47	− 1·69
60°		− 0·13	− 0·13	− 0·14	− 0·30	− 0·33	− 0·41	− 0·47	− 0·51	− 0·55	− 0·64
50°		− 0·11	− 0·13	− 0·22	− 0·32	− 0·39	− 0·45	− 0·52	− 0·59	− 0·67	− 0·67
40°		− 0·12	− 0·13	− 0·23	− 0·22	− 0·23	− 0·27	− 0·29	− 0·33	− 0·37	− 0·39
30°		− 0·04	− 0·03	− 0·14	− 0·14	− 0·10	− 0·10	− 0·13	− 0·13	− 0·16	− 0·16
Jahr vor 1850. c) Winter 231 100. Aphel											
80° N		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70°		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60°		0·19	0·20	0·21	0·44	0·49	0·59	0·68	0·73	0·74	0·93
50°		0·14	0·18	0·30	0·43	0·53	0·61	0·71	0·80	0·90	0·91
40°		0·21	0·25	0·41	0·40	0·41	0·50	0·52	0·62	0·69	0·72
30°		0·15	0·12	0·49	0·51	0·35	0·35	0·48	0·48	0·57	0·58
Jahr vor 1850. d) Winter 938 600. Perihel											
80° N		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70°		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60°		− 0·41	− 0·43	− 0·46	− 0·95	− 1·05	− 1·37	− 1·46	− 1·57	− 1·70	− 1·99
50°		− 0·33	− 0·41	− 0·70	− 0·99	− 1·22	− 1·40	− 1·63	− 1·84	− 2·09	− 2·11
40°		− 0·52	− 0·59	− 0·98	− 0·93	− 0·97	− 1·20	− 1·24	− 1·46	− 1·65	− 1·73
30°		− 0·35	− 0·27	− 1·11	− 1·16	− 0·82	− 0·82	− 1·10	− 1·11	− 1·27	− 1·35

In extrem kalten Sommern sind die Temperaturdepressionen im allgemeinen größer als die Temperaturerhöhungen in warmen Sommern. In Sibirien steigert sich die Temperaturdepression über das Doppelte der Temperaturerhöhung in 70° Br. und geht in 40° Br. um etwa das Vierfache des Sommeranstieges herunter.

In extrem warmen Wintern steigt die Temperatur in Europa in 60° und 70° Br. und je weiter östlich bis nahezu 0·9° an. Im mittleren und nördlichen Sibirien steigen die Temperaturerhöhungen über 1° bis 1·2° an.

Tabelle 16.

Abweichungen der Isothermen Eiszeit—Gegenwart in Sibirien (° C)

Breite \ Länge	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°
	Ev. Gr.						
Jahr vor 1850. a) Sommer 209 400. Aphel							
70° N	1·18	1·32	1·42	1·43	1·37	1·26	1·18
60°	0·82	0·88	0·93	0·98	0·77	0·64	0·52
50°	0·41	0·46	0·49	0·49	0·42	0·27	0·21
40°	0·12	0·12	0·12	0·09	0·09	0·08	0·07
Jahr vor 1850. b) Sommer 917 900. Perihel							
70° N	— 2·41	— 2·63	— 2·92	— 2·94	— 2·82	— 2·58	— 2·41
60°	— 0·72	— 0·78	— 0·85	— 0·87	— 0·68	— 0·57	— 0·47
50°	— 0·66	— 0·76	— 0·79	— 0·80	— 0·67	— 0·44	— 0·33
40°	— 0·43	— 0·45	— 0·46	— 0·34	— 0·32	— 0·28	— 0·23
Jahr vor 1850. c) Winter 231 100. Aphel							
70° N	—	—	—	—	—	—	—
60°	1·05	1·13	1·22	1·26	0·99	0·83	0·69
50°	0·92	1·06	1·11	1·12	0·94	0·62	0·46
40°	0·80	0·82	0·85	0·63	0·59	0·51	0·42
Jahr vor 1850. d) Winter 938 600. Perihel							
70° N	—	—	—	—	—	—	—
60°	— 2·25	— 2·43	— 2·63	— 2·70	— 2·13	— 1·78	— 1·70
50°	— 2·07	— 2·36	— 2·48	— 2·51	— 2·10	— 1·38	— 1·04
40°	— 1·90	— 1·97	— 2·02	— 1·49	— 1·40	— 1·21	— 1·02

Besonders groß aber sind die Temperaturniedrigungen in extrem kalten Wintern. Sie gehen in höheren Breiten und gegen Osten bis 2° herunter. In Sibirien sind diese Temperaturdepressionen noch viel größer und erreichen in 60° Br. 2·7°.

Damit enthüllt sich ein bisher noch gar nicht beachteter Bestrahlungseinfluß Sibiriens auf Europa in der Eiszeit.

In extrem kalten Wintern bildet sich über Sibirien eine ungeheuer starke Antizyklone aus, welche in heftigen Ostwinden große Kälte über Europa bringt und die dort ohnehin schon vorhandene Temperaturdepression ganz bedeutend verstärkt, so daß sicherlich Temperaturniedrigungen von 5° möglich sind, welche die winterliche Schneegrenze stark herabdrücken und Gletschervorstöße verursachen.

In sehr strengen Wintern wurde aber nicht allein die asiatische, sondern auch die amerikanische Antizyklone verstärkt, so daß sie über den Atlantischen Ozean mit der nach Europa herüberreichenden asiatischen Antizyklone

mehr oder weniger verbunden war, wodurch die nordatlantische Zyklone eingeengt und weiter nach Norden und Nordosten verschoben wurde. Das verursachte starke westliche feuchte Winde vom Atlantischen Ozean nach Europa, die starke Niederschläge, zumal als Schnee, brachten. Wir werden auch noch zeigen, daß auf diese Weise die Winterniederschläge sehr verstärkt werden.

Ähnliche Verhältnisse treten auch in übernormal kalten Sommern auf. Die asiatische Zyklone wird abgeschwächt, so daß auch der Abfluß der Luft über Europa nach Osten vermindert wird. Dafür steigert sich der Zufluß feuchter ozeanischer Luft von Westen und Nordwesten her, weil die sommerliche Antizyklone über dem Atlantischen Ozean fast nicht verändert wird. Kalte Sommer haben auch größere Niederschläge als warme, was noch später näher begründet wird.

In extrem milden Wintern wird die asiatische Antizyklone bedeutend vermindert, der Zufluß kalter Luft von Osten her über Europa wird abgeschwächt, so daß die Temperaturen der ohnehin milden Winter Europas nicht vermindert werden. Dafür aber wird durch die nordatlantische Zyklone, welche bis nach NW-Europa hereinreicht, feuchte Luft vom Atlantischen Ozean her in Südwestwinden angesaugt, welche vermehrte Niederschläge, besonders in Form von Schnee im Hochgebirge verursachen.

In extrem warmen Sommern wird die asiatische Zyklone bedeutend verstärkt und besonders ausgeprägt ist die südatlantische Antizyklone, welche nach Europa herüberreicht, so daß ein verstärkter Zufluß in Europa von feuchter Luft aus dem Atlantischen Ozean in West- und Nordwestwinden die Folge ist. Damit entstehen in Europa vergrößerte Sommerniederschläge, die im Hochgebirge ebenfalls meist als Schnee auftreten, so daß trotz der gesteigerten Wärme die Gletschervorstöße nur etwas Halt machen und nur in extremen Fällen wird ein Rückzug der Vergletscherung oder bei längerer Dauer sogar eine Interstadial- oder Interglazialzeit eintreten.

Ein gleichzeitig kühler Sommer und warmer Winter werden daher die Vorstöße der Vergletscherung begünstigen, während gleichzeitige warme Sommer und kalte Winter dieselben hemmen.

Die Einwendung, daß unter diesen Umständen die Eiszeiten in Asien viel gewaltiger als in Europa hätten sein müssen, erledigt sich wohl von selbst durch die kontinentale Lage der asiatischen Gebirge, die im allgemeinen aus klimatischen Gründen für eine Vergletscherung nicht besonders günstig ist. Im Himalaja und anderen Gebirgen sind ja einstige Gletschervorstöße deutlich nachgewiesen.

In Nordamerika waren diese Temperaturdepressionen und Anstiege ähnlich wie in Europa und durch analoge Umstände hervorgerufen, worauf nicht näher eingegangen werden soll.

Da im Winter in 70° Br. keine Bestrahlung mehr vorhanden ist, ist dort die Konstante A gleich der mittleren Wintertemperatur, z. B. in 130° ö. Gr. -41.6° und in 70° ö. Gr. -23.4° , also ein Unterschied von 18.2° . Auch in der Eiszeit hatte dieser Breitenkreis im Winter keine Bestrahlung. Wenn in der Eiszeit aber größere Temperaturerniedrigungen eintraten, müssen daher die Ausstrahlungen bedeutend erniedrigt worden sein, und zwar nach der größeren oder kleineren kontinentalen Lage des betreffenden Ortes. Nimmt man daher an, daß in 70° ö. Gr. in der Eiszeit der Kontinentalitätsgrad um die Hälfte von dem gegenwärtigen in 130° ö. Gr. erhöht wurde, so ergäbe dies in 70° ö. Gr. eine eiszeitliche Wintertemperatur von -32.5° , während sie gegenwärtig -23.4° beträgt. Wenn der Bestrahlungsfaktor c auch in der Eiszeit derselbe wie gegenwärtig geblieben ist, z. B. in 70° ö. Gr. $c = 79.97$, so würde sich die Sommertemperatur mit demselben A zu -3.8° ergeben, während sie gegenwärtig $+5.3^\circ$ ist, also ebenfalls eine Differenz von 9.1° .

Es sind daher in diesen Breiten in extremen Fällen in der Eiszeit in Europa und Nordamerika ganz gut Temperaturdepressionen von 5° bis 10° denkbar.

XI. Der Einfluß des Golfstromes und des sibirischen Klimas auf die Niederschlags- verhältnisse in Europa

Wir bemerkten bei der Besprechung von sehr kalten Wintern in der Eiszeit, daß in solchen nicht allein die asiatische, sondern auch die amerikanische Antizyklone verstärkt wurde, so daß sie über den Atlantischen Ozean mit der nach Europa herüberreichenden asiatischen Antizyklone mehr oder weniger verbunden war, was um so leichter geschehen konnte, als infolge der allgemeinen Temperaturdepression auch das Wasser des Atlantischen Ozeans etwas abgekühlt wurde. Dadurch wurde die nordatlantische Zyklone bei Island ebenfalls abgeschwächt, eingeengt und vielleicht etwas weiter nach Norden und Nordosten verschoben.

Es haben aber schon vor einiger Zeit Petterssen und Meinardus Untersuchungen über die Veränderlichkeit der Stärke und Temperatur des Golfstromes angestellt und letzterer kam zu dem folgenden Ergebnis¹³⁾:

„Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Geschwindigkeit des Golfstromes, seine Wärmeführung und Oberflächentemperatur sowie die relative Tiefe der barometrischen Minima, die Stärke und Richtung der vorherrschenden Luftströmungen über ihm, wenigstens in der kalten Jahreszeit, auf das engste miteinander verknüpft sind, und zwar in der Weise, daß diese Elemente eine in sich geschlossene Kette von Ursache und Wirkung darstellen. Wird aus irgendeinem Grunde die Geschwindigkeit des Golfstromes z. B. über das normale Maß vergrößert, so wird die Wärmezufuhr aus südlichen Breiten vermehrt, es wächst die Temperatur, d. h. es entsteht eine positive Temperaturabweichung von der normalen.“ Im Falle einer Abkühlung des Golfstromes treten die entgegengesetzten Verhältnisse ein.

Angeregt durch diese Betrachtungen untersuchte W. B. Schostakowitsch¹⁴⁾ die hydrometeorologischen Zustände im Gebiete des Golfstromes in den Jahren 1839—1917, im ganzen 78 Winter, und fand einen auffallenden Zusammenhang derselben mit den warmen und kalten Wintern in Sibirien. Er fand aus 13 untersuchten Orten von ganz Sibirien, daß in der bedeutendsten Mehrzahl der Fälle eine gleichartige Temperaturanomalie sich fast über ganz Sibirien erstreckt, so daß wir die Temperaturverhältnisse von Irkutsk (104° 19' ö. Gr., 52° 16' n. Br.) von 1890—1920 nach World Weather Records unseren folgenden Untersuchungen zugrunde legen konnten.

Mit den Monatsmitteln aus dem 31jährigen Zeitraum wurden für Januar und Juli die jährlichen Abweichungen gebildet, womit sich die kalten und warmen Januare bzw. Juli ergeben:

Tabelle 17. Kalte und warme Januare und Juli in Irkutsk

Kalte Januare		Warme Januare		Kalte Juli		Warme Juli		Anmerkung
Jahr	Δt	Jahr	Δt	Jahr	Δt	Jahr	Δt	
1892	-1.6°	1891	1.5°	1890	-1.9°	1893	0.2°	Januar 1890 und Juli 1891 mit den Anomalien 0.0° wurden weggelassen
1893	-8.8°	1894	0.7°	1892	-1.2°	1894	0.1°	
1895	-5.9°	1896	1.2°	1898	-1.8°	1895	0.1°	
1900	-5.2°	1897	0.3°	1899	-0.1°	1896	0.7°	
1904	-3.4°	1898	4.0°	1901	-0.3°	1897	0.7°	
1906	-1.3°	1899	3.9°	1902	-1.7°	1900	1.8°	
1909	-1.2°	1901	2.9°	1904	-1.4°	1903	0.8°	
1910	-3.5°	1902	1.9°	1906	-1.9°	1905	1.4°	
1915	-5.3°	1903	2.4°	1907	-2.6°	1908	1.4°	
1917	-2.1°	1905	4.5°	1913	-0.7°	1909	0.6°	
1919	-6.7°	1907	2.3°	1914	-0.4°	1910	1.3°	
		1908	0.6°	1917	-0.5°	1911	0.8°	
		1911	2.6°			1912	0.1°	
		1912	1.7°			1915	0.8°	
		1913	0.4°			1916	1.3°	
		1914	7.8°			1918	0.4°	
		1916	1.3°			1919	1.4°	
		1918	2.9°			1920	0.6°	
		1920	3.3°					

Soweit mir nun für diesen Zeitraum die monatlichen Niederschläge einiger Orte im Flachlande und Hochgebirge zur Hand waren, wurden sie zu den betreffenden Jahren dazugeschrieben und nach der Anzahl Jahre das Mittel berechnet.

Es waren folgende Orte:

Tabelle 18.

Geographische Koordinaten der benutzten Orte

Ort	Länge E v. Gr.	NBr.	Seehöhe m
Wien	16.4°	48.2°	203
Klagenfurt	14.3°	46.6°	446
Obir	14.5°	46.5°	2044
Zugspitze	11.0°	47.4°	2964
Sonnblick	13.0°	47.0°	3106

Das Ergebnis war besonders für den Januar ein ganz überraschendes:

Tabelle 19.

Niederschläge

Ort	Niederschlag in mm				% des Gesamtniederschlages				Anmerkung
	Januar		Juli		Januar		Juli		
	kalt	warm	kalt	warm	kalt	warm	kalt	warm	
Wien	57	35	86	99	62·0	38·0	46·5	53·5	1890—1920
Klagenfurt	77	26	138	100	74·7	25·3	58·0	42·0	1890—1920
Obir	138	59	204	152	70·0	30·0	57·3	42·7	1890—1920
Zugspitze	78	55	181	198	58·6	41·4	47·8	52·2	1901—1918
Sonnblick	145	108	138	146	57·3	42·7	48·6	51·4	1891—1920
Mittel	—	—	—	—	64·5	35·5	51·6	48·4	—

Im Mittel aus allen 5 Orten ist somit der Niederschlag in kalten sibirischen Januaren (Wintern) 64·5% und in warmen 35·5% des gesamten Niederschlags dieses Monats. Die kalten sibirischen Winter bringen daher in Europa sowohl im Flachlande als auch im Hochgebirge bedeutend größere Niederschläge als die warmen. Besonders groß ist dieser Gegensatz in Klagenfurt und auf dem Obir, während er auf der Zugspitze und auf dem Sonnblick kleiner ist. Dabei spielt vielleicht auch eine Rolle die Schwierigkeit der Niederschlagsmessung auf Berggipfeln, während der Regenmesser auf dem Obir in geschützter Lage sich befindet.

Diese in kalten Wintern vermehrten Niederschläge können nur durch verstärkte ozeanische westliche Winde verursacht sein, hervorgerufen durch den hohen Luftdruck im südlichen und niedrigen im nördlichen Teil des Atlantischen Ozeans.

Im Juli (Sommer) ist dieser Gegensatz im Mittel aus allen 5 Orten viel kleiner als im Januar, und zwar ist der Niederschlag in kalten Julis etwas größer als in warmen, aber dieser Unterschied beträgt in Klagenfurt und auf dem Obir 57·6% und 42·4%, während er an den 3 übrigen Orten gerade entgegengesetzt 47·6% und 52·4% beträgt. Vielleicht spielt dabei die verschiedene geographische Lage der beiden Ortsgruppen eine Rolle. Jedenfalls sind die Luftdruckverhältnisse im Atlantischen Ozean jetzt derart geändert, daß die westlichen Winde über Europa in kalten und warmen Sommern nahezu dieselben sind. Das Minimum über Island bleibt erhalten und das Azoren-Maximum ist verbreitert.

Es werden daher in besonders kalten Wintern, wie sie in der Eiszeit auftraten, die Schnee- und Firnmassen vermehrt, so daß die Gletscher sich vergrößern und vorzustoßen beginnen. Obwohl im Sommer die Niederschläge größer als im Winter sind, so besteht aber kein wesentlicher Unterschied in

kalten und warmen Sommern. Während aber in warmen Sommern sich die Ablation der Gletscher vergrößert, so daß sie sich zurückziehen, ist dies in kalten Sommern weniger der Fall, so daß also eine Reihe von sehr kalten Wintern und kalten Sommern die Gletschervorstöße begünstigt, aber auch warme Sommer bei sehr strengen Wintern werden den Vorstoß nicht aufhalten oder nur verzögern, während warme Winter und warme Sommer dieselben hemmen und bei längerer Dauer Interglazialzeiten hervorrufen können.

Zur Beurteilung der Niederschlagsverhältnisse in kalten und warmen Jahreszeiten in der Gegenwart dürften auch die folgenden Berechnungen nicht ohne Interesse sein.

Im Abschnitte XII „Die sommerliche und winterliche Bestrahlungskurve in der Eiszeit“ wird bemerkt, daß zur Hervorrufung einer Eiszeit kalte Sommer und milde Winter in erster Linie erforderlich sind. Die milden Winter bringen vermehrte Niederschläge in Form von Schnee im Hochgebirge, der allmählich verfirnt und vergletschert, so daß die fortschreitende Vergletscherung im folgenden kalten Sommer nicht wettgemacht werden kann, da derselbe auch gegen warme Sommer vermehrte Niederschläge hat.

Da der Einfluß der Temperatur auf die Menge der Niederschläge in der Eiszeit kaum viel anders als gegenwärtig gewesen sein dürfte, wurde derselbe für Winter und Sommer je zweier Orte mit längeren Beobachtungsreihen, nämlich in Tallage Wien (H = 200 m) und Klagenfurt (H = 446 m) sowie im Hochgebirge Obir (H = 2044 m) und Sonnblick (H = 3106 m) untersucht.

Für Klagenfurt wurden die Temperaturen und Niederschläge von 1851 bis 1900 verwendet, wie sie in der „Klimatologie von Kärnten“ von V. Conrad angegeben sind, und für 1901—1930 wurden die Daten aus den Jahrbüchern der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien zusammengestellt, so daß also eine 80jährige Beobachtungsreihe vorlag. Für den Sonnblick konnten die Tabellen in „Meteorologie des Sonnblicks“ von F. Steinhauser benützt werden, aber erst von 1891 an bis 1936, weil in den vorausgegangenen 4 Jahren der Niederschlag noch nicht gemessen wurde, so daß hier eine 46jährige Beobachtungsreihe zu Gebote stand.

Die Daten für Wien (1892—1932, 41 Jahre) hatte ich mir schon früher zu einem anderen Zweck zusammengestellt und die Temperaturen und Niederschläge für Obir (1880—1937, 58 Jahre) wurden aus den Jahresberichten des Sonnblickvereines berechnet.

Für jede der 4 Stationen wurden zunächst die mittleren Wintertemperaturen (Dezember, Januar, Februar) und die mittleren Sommertemperaturen (Juni, Juli, August) berechnet und daraus ergaben sich dann die Abweichungen in den einzelnen Jahren von diesen Mittelwerten, so daß sich aus den positiven und negativen Abweichungen die warmen und kalten Winter und Sommer fanden. Zu jedem Jahr wurden dann die in der betreffenden

Jahreszeit gemessenen Niederschlagssummen der 3 Winter- und Sommermonate dazugeschrieben.

Vom ganzen im Winter bzw. Sommer gefallenen Niederschlag entfällt in Hundertteilen desselben:

Tabelle 20.

Ort	Winter		Sommer	
	warm	kalt	warm	kalt
Wien	49·5	50·5	40·9	59·1
Klagenfurt	50·6	49·4	43·7	56·3
Obir	51·2	48·8	46·4	53·6
Sonnblick	45·8	54·2	45·2	54·8

Nur bei $\Delta t \geq 1\cdot0^\circ$:

Tabelle 21.

Ort	Winter		Sommer	
	warm	kalt	warm	kalt
Wien.	50·7	49·3	30·6	69·4
Klagenfurt	52·5	47·5	40·4	59·6
Obir	46·9	53·1	41·5	58·5
Sonnblick	43·6	56·4	41·6	58·4

In warmen und kalten Wintern sind in der Niederung die Niederschläge nahezu gleich groß, nur bei Temperaturen von $\Delta t \geq 1\cdot0^\circ$ sind sie in warmen Wintern etwas größer als in kalten. Mit zunehmender Seehöhe sind besonders in extremen Wintern die Niederschläge in kalten größer als in warmen.

Im Sommer sind die Gegensätze viel größer, besonders im Flachland sind in kalten Sommern die Niederschläge bedeutend größer als in warmen. Mit zunehmender Seehöhe vermindert sich dieser Gegensatz, ist aber immerhin noch bedeutend.

XII. Die sommerliche und winterliche Bestrahlungskurve während der Eiszeit und Gliederung der alpinen Eiszeit

Mit unserer vereinfachten Formel der Berechnung der wahren Bestrahlungen der Breitenkreise in beliebigen Zeiten konnte nun darangegangen werden die sommerliche und winterliche Bestrahlungskurve für die ganze Eiszeit zu berechnen, womit die früher mit Farlands Daten berechnete gegenstandslos geworden ist. (Zur Chronologie des Eiszeitalters.) Dazu wurden die Erdbahnelemente nach den Berechnungen von Pilgrim zugrunde gelegt, wie dies schon im Abschnitt V näher dargelegt wurde. Die zu $\Pi = 90^\circ$ und 270° gehörenden Zeiten, Exzentrizität und Schiefe der Ekliptik sind in der Tabelle 22 angeführt. $\Pi = 90^\circ$ ist einfach durch einen Punkt (.) gekennzeichnet. Als Sommer wurde die Zeit der mittleren Sonne von 45° bis 135° und als Winter von 225° bis 315° benutzt.

Wir haben uns beschränkt, die Bestrahlungen nur für die Breiten 0° , 30° , 45° und 60° zu berechnen und haben sie mit den gegenwärtigen verglichen:

Breite	Sommer	Winter
0°	0·5939	0·5972
30°	0·6187	0·4120
45°	0·5643	0·2719
60°	0·4626	0·1112

Das Ergebnis bzw. nur die Differenzen der Bestrahlungen Eiszeit—Gegenwart sind ebenfalls in der Tabelle 22 angeführt, die auch die mittleren Deklinationen enthält, welche sich für die betreffende Perihelstellung, Exzentrizität und Schiefe der Ekliptik ergaben.

In 45° Breite erreicht im Sommer das Maximum $+ 0\cdot0031$ und das Minimum $- 0\cdot0054$ und im Winter das Maximum $+ 0\cdot0080$ und das Minimum $- 0\cdot0174$. Es gehen also die Abweichungen im Winter viel tiefer unter den gegenwärtigen Wert herunter als im Sommer. Die Differenzen in 30° und 60° Breite sind von denen in 45° Breite nicht wesentlich verschieden.

Tabelle 22.

Sommerliche und winterliche Bestrahlungen während der Eiszeit.
Differenz (Eiszeit—Gegenwart)

Nr.	Jahr vor 1850	e	ε	Jahreszeit	δ _m	Br. 0°	30°	45°	60°
1	1 361 540	0·0129	23° 27'	S	20° 53'	+ 0·0010	- 0·0002	- 0·0010	- 0·0010
				W	- 21° 6'	- 32	- 72	- 83	- 93
2	1 356 510	170	23° 27'	S	21° 8'	+	3	0	0
				W	- 20° 51'	- 22	- 48	- 57	- 65
3	1 346 900	261	23° 27'	S	20° 48'	+	12	3	12
				W	- 21° 12'	- 36	- 78	- 94	- 104
4	1 336 830	341	23° 27'	S	21° 16'	-	5	+	3
				W	- 20° 41'	- 15	- 35	- 41	- 45
5	1 326 190	394	23° 27'	S	20° 38'	+	19	-	5
				W	- 21° 13'	- 37	- 79	- 95	- 106
6	1 315 600	422	23° 27'	S	21° 20'	-	8	+	2
				W	- 20° 37'	- 12	- 28	- 33	- 37
7	1 306 950	390	23° 27'	S	20° 39'	+	19	-	4
				W	- 21° 18'	- 40	- 87	- 103	- 115
8	1 294 230	334	23° 27'	S	21° 16'	-	5	+	3
				W	- 20° 42'	- 17	- 37	- 42	- 48
9	1 283 060	195	23° 27'	S	20° 49'	+	12	-	3
				W	- 21° 9'	- 34	- 73	- 89	- 98
10	1 269 180	074	23° 27'	S	21° 3'	+	3	-	1
				W	- 20° 56'	- 26	- 56	- 66	- 74
11	1 253 880	192	23° 27'	S	20° 50'	+	11	-	3
				W	- 21° 9'	- 34	- 73	- 89	- 98
12	1 242 610	311	23° 27'	S	21° 15'	-	5	+	2
				W	- 20° 43'	- 7	- 13	- 17	- 17
13	1 231 780	405	23° 27'	S	20° 37'	+	21	-	5
				W	- 21° 19'	- 41	- 89	- 107	- 116
14	1 221 080	460	23° 27'	S	21° 21'	-	10	+	2
				W	- 20° 34'	- 11	- 24	- 29	- 43
15	1 210 460	472	23° 27'	S	20° 34'	+	22	-	6
				W	- 21° 21'	- 43	- 92	- 108	- 120
16	1 199 970	439	23° 27'	S	21° 20'	-	8	+	2
				W	- 20° 36'	- 12	- 27	- 33	- 36
17	1 189 600	362	23° 27'	S	20° 40'	+	18	-	6
				W	- 21° 17'	- 40	- 86	- 103	- 113
18	1 179 450	251	23° 27'	S	21° 12'	-	3	+	2
				W	- 20° 46'	- 19	- 41	- 50	- 56
19	1 170 000	145	23° 27'	S	20° 52'	+	10	-	3
				W	- 21° 7'	- 30	- 70	- 86	- 95
20	1 162 400	102	23° 27'	S	21° 5'	+	1	-	1
				W	- 20° 54'	- 25	- 53	- 63	- 70
21	1 154 400	131	23° 27'	S	20° 53'	+	10	-	2
				W	- 21° 6'	- 32	- 72	- 83	- 93
22	1 145 630	207	23° 27'	S	21° 10'	-	1	+	3
				W	- 20° 19'	- 0	- 3	- 4	- 5
23	1 135 850	286	23° 27'	S	20° 44'	+	15	-	5
				W	- 21° 13'	- 37	- 79	- 95	- 106
24	1 125 860	345	23° 27'	S	21° 16'	-	5	+	3
				W	- 20° 41'	- 15	- 35	- 41	- 45
25	1 115 900	362	23° 27'	S	20° 40'	+	18	-	6
				W	- 21° 17'	- 40	- 86	- 103	- 113
26	1 106 130	332	23° 27'	S	21° 16'	-	5	+	3
				W	- 20° 42'	- 17	- 37	- 42	- 48
27	1 096 500	307	23° 27'	S	20° 42'	+	16	-	4
				W	- 21° 15'	- 38	- 83	- 99	- 108

Tabelle 22. (Fortsetzung)

Nr.	Jahr vor 1850	e	s	Jahreszeit	δ_m	Br. 0°	30°	45°	60°
28	1 087 110	0·0294	23° 27'	S	21° 14'	-0·0004	+0·0002	+0·0001	+0·0003
				W	-20° 44'	18	38	46	52
29	1 077 870	303	23° 27'	S	20° 43'	+16	4	14	16
				W	-21° 14'	37	80	95	107
30	1 068 240	332	23° 27'	S	21° 16'	5	+3	2	+4
				W	-20° 42'	17	37	42	48
31	1 058 540	362	23° 27'	S	20° 40'	+18	6	16	19
				W	-21° 17'	40	86	103	113
32	1 048 500	374	23° 27'	S	21° 17'	7	+1	2	+5
				W	-20° 40'	15	34	40	43
33	1 038 340	356	23° 27'	S	20° 40'	+18	6	16	19
				W	-21° 17'	40	86	103	113
34	1 028 040	286	23° 27'	S	21° 14'	4	+2	1	+3
				W	-20° 44'	18	38	46	52
35	1 017 860	210	23° 27'	S	20° 48'	+12	3	12	12
				W	-21° 10'	34	74	90	100
36	1 006 330	134	23° 27'	S	21° 6'	+1	0	2	1
				W	-20° 53'	23	51	61	69
37	994 200	084	23° 9'	S	20° 48'	+12	3	12	12
				W	-20° 48'	21	44	54	59
38	987 200	069	23° 46'	S	21° 20'	8	+2	6	+8
				W	-21° 13'	37	79	95	106
39	979 600	161	23° 53'	S	21° 14'	4	+2	1	+3
				W	-21° 31'	49	105	126	196
40	969 700	308	22° 59'	S	20° 50'	+11	3	12	12
				W	-20° 19'	0	3	4	5
41	959 600	448	22° 40'	S	20° 5'	+41	12	36	41
				W	-20° 30'	8	19	22	26
42	949 300	559	23° 29'	S	21° 28'	14	+4	9	+11
				W	-20° 30'	8	19	22	26
43	938 600	621	24° 1'	S	20° 54'	8	3	9	10
				W	-21° 59'	68	149	174	193
44	928 200	619	23° 11'	S	21° 14'	4	+2	1	+3
				W	-20° 11'	4	+7	9	+11
45	917 900	550	22° 26'	S	19° 37'	+58	19	54	62
				W	-20° 30'	8	19	22	26
46	907 500	417	23° 24'	S	21° 17'	7	+1	2	+5
				W	-20° 35'	11	25	30	35
47	896 500	226	24° 3'	S	21° 20'	8	+2	6	+8
				W	-21° 43'	58	122	147	162
48	876 900	182	22° 42'	S	20° 29'	+25	7	22	26
				W	-20° 11'	4	+7	9	+11
49	866 200	387	23° 22'	S	20° 35'	+22	6	20	21
				W	-21° 14'	37	80	95	107
50	855 600	542	23° 39'	S	21° 36'	19	+4	13	+16
				W	-20° 40'	15	34	40	43
51	845 100	634	23° 11'	S	20° 10'	+15	5	15	16
				W	-21° 14'	37	80	95	107
52	834 700	653	22° 58'	S	21° 3'	3	1	5	4
				W	-19° 58'	+12	+27	+31	+35
53	824 300	605	23° 31'	S	20° 29'	+25	7	22	26
				W	-21° 32'	49	106	127	140
54	813 700	501	23° 37'	S	21° 32'	16	+4	12	+14
				W	-20° 40'	15	34	40	43
55	803 200	348	22° 50'	S	20° 9'	+38	12	34	39
				W	-20° 43'	17	36	45	50

Tabelle 22.

(Fortsetzung)

Nr.	Jahr vor 1850	e	s	Jahreszeit	z _m	Br. 0°	30°	45°	60°
56	792 800	0-0173	22° 59'	S	20° 44'	+ 0-0015	- 0-0005	- 0-0015	- 0-0016
				W	- 20° 26'	6	14	17	18
57	784 500	023	23° 41'	S	21° 11'	3	0	0	+
				W	- 21° 13'	37	79	95	106
58	780 100	043	23° 58'	S	21° 29'	15	+	4	+
				W	- 21° 25'	45	98	115	128
59	771 000	169	23° 33'	S	20° 56'	7	3	8	8
				W	- 21° 14'	37	80	95	107
60	760 800	292	22° 43'	S	20° 35'	22	6	20	21
				W	- 20° 6'	7	+	15	+
61	750 500	373	22° 52'	S	20° 9'	38	12	34	39
				W	- 20° 46'	19	41	50	56
62	740 200	409	23° 49'	S	21° 39'	22	+	5	+
				W	- 20° 57'	26	57	66	76
63	729 800	402	23° 51'	S	20° 59'	5	2	6	6
				W	- 21° 41'	56	120	143	159
64	719 700	360	22° 49'	S	20° 43'	16	4	14	16
				W	- 20° 7'	7	+	13	+
65	710 000	306	22° 42'	S	20° 4'	41	12	37	42
				W	- 20° 34'	11	24	29	43
66	700 700	256	23° 35'	S	21° 19'	8	8	4	+
				W	- 20° 53'	23	51	61	69
67	691 700	242	23° 49'	S	21° 6'	1	0	2	1
				W	- 21° 32'	49	106	127	140
68	682 500	270	23° 13'	S	21° 0'	5	0	6	6
				W	- 20° 33'	11	23	28	32
69	673 100	322	22° 51'	S	20° 11'	37	10	33	37
				W	- 20° 43'	17	36	45	50
70	663 900	356	23° 20'	S	21° 11'	3	0	0	+
				W	- 20° 34'	11	24	29	43
71	653 300	362	23° 43'	S	20° 54'	8	3	9	10
				W	- 21° 32'	49	106	127	140
72	643 200	335	23° 10'	S	21° 0'	5	0	6	6
				W	- 20° 27'	7	14	17	20
73	633 500	263	22° 47'	S	20° 11'	37	10	33	37
				W	- 20° 37'	12	28	33	37
74	624 400	177	23° 22'	S	21° 4'	3	1	3	3
				W	- 20° 46'	19	41	50	56
75	616 200	134	23° 54'	S	21° 17'	7	+	1	+
				W	- 21° 31'	49	105	126	196
76	608 100	177	23° 37'	S	21° 17'	7	+	1	+
				W	- 20° 59'	28	59	71	79
77	599 100	280	22° 40'	S	20° 4'	41	12	37	42
				W	- 20° 31'	10	21	25	28
78	589 400	392	22° 41'	S	20° 37'	21	5	18	20
				W	- 19° 58'	12	+	27	+
79	579 300	488	23° 46'	S	20° 49'	12	3	12	12
				W	- 21° 39'	55	117	140	155
80	568 800	520	23° 59'	S	22° 5'	40	+	8	+
				W	- 20° 44'	18	38	46	52
81	558 400	505	22° 51'	S	20° 0'	44	14	40	45
				W	- 20° 51'	22	48	57	65
82	548 200	439	22° 35'	S	20° 34'	22	6	20	23
				W	- 19° 51'	16	+	37	+
83	537 800	327	23° 41'	S	20° 54'	8	3	9	10
				W	- 21° 28'	47	102	120	132

Tabelle 22.

(Fortsetzung)

Nr.	Jahr vor 1850	e	ε	Jahreszeit	ε _m	Br. 0°	30°	45°	60°
84	527 200	0·0179	23° 52'	S	21° 31'	- 0·0016	+ 0·0004	+ 0·0010	+ 0·0013
				W	- 21° 12'	- 36	- 78	- 94	- 104
85	507 100	114	22° 49'	S	20° 21'	+ 30	- 9	- 27	- 30
				W	- 20° 32'	- 10	- 22	- 25	- 29
86	496 200	250	23° 39'	S	21° 22'	- 10	+ 3	+ 6	+ 8
				W	- 20° 57'	- 26	- 57	- 66	- 76
87	485 500	351	23° 36'	S	20° 48'	+ 12	- 3	- 12	- 12
				W	- 20° 24'	- 4	- 10	- 11	- 15
88	475 000	413	22° 48'	S	20° 44'	+ 15	- 5	- 15	- 16
				W	- 20° 3'	- 8	+ 19	+ 21	+ 25
89	464 700	432	22° 57'	S	20° 10'	+ 33	- 9	- 30	- 33
				W	- 20° 53'	- 23	- 51	- 61	- 69
90	454 100	411	23° 57'	S	21° 46'	- 26	+ 7	+ 19	+ 22
				W	- 21° 3'	- 30	- 69	- 78	- 87
91	443 500	356	23° 23'	S	20° 37'	+ 21	- 5	- 18	- 20
				W	- 21° 13'	- 37	- 79	- 95	- 106
92	433 500	278	22° 22'	S	20° 15'	+ 34	- 11	- 30	- 35
				W	- 19° 48'	- 18	+ 39	+ 47	+ 51
93	423 800	202	23° 8'	S	20° 33'	+ 22	- 7	- 21	- 23
				W	- 20° 53'	- 23	- 51	- 61	- 69
94	414 700	128	24° 9'	S	21° 44'	- 25	+ 6	+ 16	+ 20
				W	- 21° 30'	- 48	- 102	- 124	- 137
95	406 300	104	23° 53'	S	21° 17'	- 7	+ 1	+ 2	+ 5
				W	- 21° 28'	- 47	- 102	- 120	- 132
96	398 000	133	22° 51'	S	20° 34'	+ 22	- 6	- 20	- 23
				W	- 20° 21'	- 3	- 6	- 8	- 9
97	388 900	185	22° 21'	S	19° 52'	+ 48	- 13	- 44	- 51
				W	- 20° 10'	- 4	+ 9	+ 10	+ 12
98	379 300	210	23° 23'	S	21° 7'	+ 3	- 1	+ 1	+ 1
				W	- 21° 45'	- 1	- 0	- 2	- 1
99	369 400	221	24° 16'	S	21° 31'	- 16	+ 4	+ 10	+ 13
				W	- 21° 54'	- 64	- 137	- 166	- 182
100	359 600	211	23° 22'	S	21° 6'	+ 1	- 0	- 2	- 1
				W	- 20° 45'	- 18	- 39	- 49	- 52
101	350 500	200	22° 19'	S	19° 50'	+ 49	- 16	- 44	- 53
				W	- 20° 9'	- 5	+ 4	+ 13	+ 14
102	341 700	207	23° 2'	S	20° 48'	+ 12	- 3	- 12	- 12
				W	- 20° 27'	- 7	- 14	- 17	- 20
103	332 400	240	24° 7'	S	21° 22'	- 10	+ 3	+ 6	+ 8
				W	- 21° 48'	- 60	- 129	- 155	- 172
104	322 600	292	23° 29'	S	21° 16'	- 5	+ 3	+ 2	+ 4
				W	- 20° 46'	- 19	- 41	- 50	- 56
105	312 800	337	22° 32'	S	19° 53'	+ 48	- 15	- 43	- 51
				W	- 20° 26'	- 6	- 14	- 17	- 18
106	302 800	360	23° 11'	S	21° 2'	+ 4	- 1	- 5	- 4
				W	- 20° 26'	- 6	- 14	- 17	- 18
107	292 400	343	24° 2'	S	21° 12'	- 3	+ 2	+ 2	+ 3
				W	- 21° 48'	- 60	- 129	- 155	- 172
108	281 600	285	23° 18'	S	21° 5'	+ 1	- 1	- 4	- 2
				W	- 20° 37'	- 12	- 28	- 33	- 37
109	270 700	198	22° 22'	S	19° 52'	+ 48	- 13	- 44	- 51
				W	- 20° 11'	- 4	+ 7	+ 9	+ 11
110	256 900	099	23° 47'	S	21° 23'	- 11	+ 2	+ 6	+ 8
				W	- 21° 12'	- 36	- 78	- 94	- 104
111	242 300	209	23° 36'	S	20° 56'	+ 7	- 3	- 8	- 8
				W	- 21° 18'	- 40	- 87	- 103	- 115

Tabelle 22.

(Fortsetzung)

Nr.	Jahr vor 1850	e	ε	Jahreszeit	δ _m	Br. 0°	30°	45°	60°
112	231 100	0·0322	22° 2'	S	19° 59'	+ 0·0044	- 0·0014	- 0·0040	- 0·0046
				W	- 19° 28'	+ 30	+ 66	+ 80	+ 90
113	220 500	404	23° 15'	S	20° 27'	+ 26	- 8	- 24	- 26
				W	- 21° 8'	- 33	- 71	- 87	- 97
114	209 400	451	24° 24'	S	22° 12'	- 44	+ 11	+ 31	+ 36
				W	- 21° 25'	- 45	- 98	- 115	- 128
115	198 300	460	23° 8'	S	20° 18'	+ 33	+ 8	- 30	- 33
				W	- 21° 5'	- 32	- 58	- 82	- 90
116	187 400	435	22° 30'	S	20° 29'	+ 25	- 7	- 22	- 26
				W	- 19° 46'	+ 19	+ 42	+ 51	+ 51
117	176 200	384	23° 31'	S	20° 42'	+ 16	- 4	- 15	- 17
				W	- 21° 22'	- 43	- 93	- 110	- 121
118	164 500	319	23° 54'	S	21° 40'	- 22	+ 5	+ 15	+ 19
				W	- 21° 6'	- 32	- 72	- 83	- 93
119	152 300	265	22° 37'	S	20° 2'	+ 43	- 13	- 39	- 45
				W	- 20° 28'	- 7	- 15	- 19	- 20
120	140 000	259	23° 12'	S	20° 57'	+ 7	- 2	- 8	- 8
				W	- 20° 21'	- 3	- 6	- 8	- 9
121	127 600	308	24° 8'	S	21° 19'	- 8	- 8	+ 4	+ 6
				W	- 21° 52'	- 63	- 135	- 161	- 179
122	116 000	363	22° 41'	S	20° 36'	+ 21	- 7	- 19	- 20
				W	- 20° 0'	+ 11	+ 25	+ 26	+ 30
123	105 100	401	22° 42'	S	19° 59'	+ 44	- 14	- 40	- 46
				W	- 20° 38'	- 14	- 30	- 36	- 41
124	94 100	403	24° 8'	S	21° 56'	- 33	+ 8	+ 22	+ 27
				W	- 21° 13'	- 37	- 79	- 95	- 106
125	82 900	364	23° 39'	S	20° 51'	+ 11	- 3	- 11	- 10
				W	- 21° 28'	- 47	- 102	- 120	- 132
126	72 000	292	22° 20'	S	20° 14'	+ 34	- 11	- 32	- 36
				W	- 19° 46'	+ 19	+ 42	+ 51	+ 51
127	60 900	194	22° 56'	S	20° 23'	+ 29	- 8	- 27	- 29
				W	- 20° 41'	- 15	- 35	- 41	- 45
128	47 600	110	24° 25'	S	21° 57'	- 34	+ 8	+ 23	+ 28
				W	- 21° 45'	- 59	- 125	- 151	- 166
129	33 500	138	22° 37'	S	20° 9'	+ 38	- 12	- 34	- 39
				W	- 20° 22'	- 3	- 7	- 9	- 11
130	22 300	182	22° 44'	S	20° 27'	+ 26	- 8	- 24	- 26
				W	- 20° 13'	+ 3	+ 5	+ 6	+ 8
131	11 400	195	24° 5'	S	21° 23'	- 11	+ 2	+ 6	+ 8
				W	- 21° 43'	- 58	- 122	- 147	- 162
132	600	170	23° 31'	S	21° 12'	- 3	+ 2	+ 2	+ 3
				W	- 20° 55'	- 25	- 53	- 65	- 72

Der ganze Verlauf der sommerlichen und winterlichen Bestrahlungen in 45° Breite ist des besseren Überblickes halber in der Fig. 2 dargestellt *).

Der erste Blick auf die Bestrahlungskurve zeigt keine auffallende Abgrenzung der vier Eiszeiten in den Alpen: Günz-, Mindel-, Riß- und Würm-Eiszeit. Man ersieht nämlich nicht sofort, wie die kalten und warmen Sommer

*) Maßstab. Abszisse: 15 mm = 10 000 Jahre,
Ordinate: 5 mm = 0·0020 Einheiten.

und Winter zur Bildung einer Eiszeit zusammengewirkt haben, aber es fällt doch eine große Häufigkeit sehr kalter Winter auf. Würde man die verschiedenen Ergebnisse der glazialgeologischen Untersuchungen zeitlich geordnet hintereinanderlegen, so würde man wahrscheinlich ein ebenso schwer zu deutendes Bild der Abgrenzung der Glazialzeiten erhalten. Es gibt auch die Einteilung der Vergletscherungen in den Alpen nur ein generalisierendes Bild, in den einzelnen Gebieten der Vergletscherung können die mannigfaltigsten Verschiedenheiten beim Vorstoßen und Abschmelzen der Gletscher eingetreten sein. Auch diejenigen Forscher, welche die Eiszeit als eine einheitliche Erscheinung annehmen, die nur von Oszillationen am Eisrande unterbrochen war, werden in unserer Bestrahlungskurve ihre Rechnung finden.

Bei genauerer Durchsicht der beiden Kurven aber zeigt sich, daß zur Hervorrufung einer Eiszeit kalte Sommer und milde Winter in erster Linie erforderlich sind. Die milden Winter bringen vermehrte Niederschläge in Form von Schnee im Hochgebirge, der allmählich verfirnt und vergletschert, so daß die fortschreitende Vergletscherung

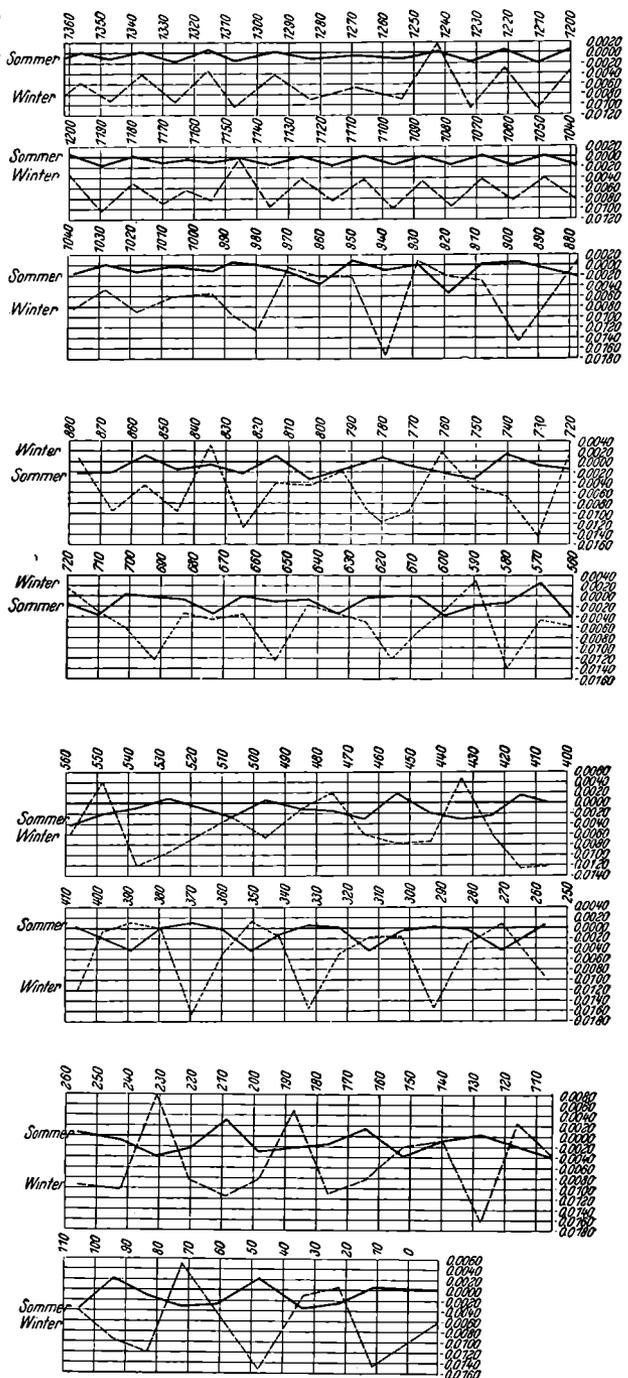


Fig. 2.

im folgenden kalten Sommer nicht wettgemacht werden kann. Aber auch ein nur kurze Zeit anhaltender warmer Sommer vermag den Vorstoß der Vergletscherung nur zum zeitweiligen Stillstand zu bringen, aber nicht weiter zu verhindern.

Ein sehr kalter Winter, der seine Herrschaft bis weit in den Frühling hinein ausübt, wird das Eis verhärten, so daß ein Schmelzen desselben im warmen Sommer erschwert wird. Auf diese Weise kann ein Gletschervorstoß oder eine Eiszeit in 2 oder 3 Teile geteilt werden. Bei öfterer Wiederholung warmer Sommer, wenn damit auch kalte Winter verbunden sind, kann allmählich ein Rückzug der Vergletscherung oder eine Interglazialzeit eintreten.

Es würde auch keine Schwierigkeiten machen, aus der Bestrahlungskurve für England 5—6 Gletschervorstöße oder Eiszeiten herauszufinden, ebenso für Nordamerika.

Es muß auch zugegeben werden, wie W. Sörgel, „Die Vereisungskurve“¹⁶⁾, nachgewiesen hat, daß die Vereisung und Abschmelzung der Temperatur nachhinken.

Übrigens geben auch Penck und Brückner zu, daß die Moränen der Mindel-Eiszeit ganz verwaschen und nur Spuren der Günz-Eiszeit vorhanden sind.

Wir haben aber ein Mittel gefunden, die Gliederung der alpinen Eiszeit mit einiger Sicherheit und Wahrscheinlichkeit aus der Bestrahlungskurve herauszufinden.

Wenn man aus den Bestrahlungsabweichungen Eiszeit—Gegenwart im Sommer und Winter das Mittel bildet, so kann man dasselbe als die mittlere jährliche Bestrahlungsabweichung betrachten. Dasselbe ist nun zeitweilig auffallenderweise bei $\Pi = 90^\circ$ negativ sehr groß, es sind dies also besonders kalte Jahre. Parallel mit ihnen gehen die Jahre bei $\Pi = 270^\circ$, welche abwechselnd kalte Sommer und warme Winter oder warme Sommer und kalte Winter haben, in welchen nach den früheren Darlegungen im ersten Falle in den Eiszeiten die Niederschläge vermehrt waren, so daß sie auf fest gefrorenes Eis fielen, welches in den kalten Periheljahnen sich erhärtet hatte. Es sind daher in solchen Zeiten die Bedingungen für Gletschervorstöße besonders günstig.

In der Eiszeit sind infolge der geänderten Bestrahlungsverhältnisse hauptsächlich die Winter viel kälter als gegenwärtig gewesen. Da sich aber die winterliche Kälte weit in das Frühjahr hinein verschiebt, waren auch die Frühjahre viel kälter als gegenwärtig, so daß auch ein wärmerer Sommer die vorgeschrittene Vergletscherung nicht beseitigen konnte. Die verlängerte sibirische Kälte hat, wie schon früher gezeigt wurde, die europäische noch weiterhin verstärkt.

Auf der südlichen Hemisphäre wechseln nur Sommer und Winter gegenüber der Nordhemisphäre ab, sonst aber herrschen dort dieselben Verhält-

nisse, also kalte mittlere Jahrestemperaturen, indem wir ja unseren Berechnungen gleich lange Jahreszeiten zugrunde gelegt haben.

Damit ist wohl auch die Möglichkeit gegeben, daß die Glazialerscheinungen der Nordhemisphäre sich auch über den Äquator hin auf die Südhemisphäre ausgewirkt haben, wie wir dies schon früher einmal gezeigt haben⁴¹⁾.

Verbindet man die aufeinanderfolgenden Perihelzacken der jährlichen Bestrahlungskurve einerseits und die Aphelzacken andererseits miteinander, so gehen diese beiden Linienzüge in den Eiszeiten auseinander, während sie sich in den Zwischen- oder Interglazialzeiten mehr oder weniger nähern, so daß man auf diese Weise die Glazialzeiten herausfinden kann.

In der Tabelle 23 sind die so erhaltenen mittleren jährlichen Bestrahlungsdifferenzen von halbem zu halbem Perihelumlaf angegeben und in der Fig. 3 sind die Perihel und Apele untereinander verbunden, woraus das oben Gesagte deutlich zutage tritt.

Tabelle 23. Jährliche Bestrahlungsdifferenzen
 $\Delta S = \text{Eiszeit} - \text{Gegenwart in der Eiszeit in } 45^\circ \text{ Br.}$

Nr.	Jahr vor 1850	ΔS	Nr.	Jahr vor 1850	ΔS	Nr.	Jahr vor 1850	ΔS	Nr.	Jahr vor 1850	ΔS
1	1 361 540	-0.0047	34	1 028 040	-0.0023	67	691 700	-0.0065	100	359 600	-0.0026
2	1 356 510	-	29	35 1 017 860	-	51	68 682 500	-	17	101 350 500	-
3	1 346 900	-	53	36 1 006 330	-	32	69 673 100	-	39	102 341 700	-
4	1 336 830	-	20	37 994 200	-	33	70 663 900	-	15	103 332 400	-
5	1 326 190	-	57	38 987 200	-	45	71 653 300	-	68	104 322 600	-
6	1 315 600	-	14	39 979 600	-	63	72 643 200	-	12	105 312 800	-
7	1 306 950	-	60	40 969 700	-	8	73 633 500	-	33	106 302 800	-
8	1 294 230	-	20	41 959 600	-	29	74 624 400	-	27	107 292 400	-
9	1 283 060	-	51	42 949 300	-	7	75 616 200	-	62	108 281 600	-
10	1 269 180	-	36	43 938 600	-	92	76 608 100	-	35	109 270 700	-
11	1 253 880	-	51	44 928 200	+	5	77 599 100	-	31	110 256 900	-
12	1 242 610	+	10	45 917 900	-	38	78 589 400	+	7	111 242 300	-
13	1 231 780	-	63	46 907 500	-	14	79 579 300	-	76	112 231 100	+
14	1 221 080	-	12	47 896 500	-	71	80 568 800	-	10	113 220 500	-
15	1 210 460	-	64	48 876 900	-	7	81 558 400	-	49	114 209 400	-
16	1 199 970	-	14	49 866 200	-	58	82 548 200	+	12	115 198 300	-
17	1 189 600	-	60	50 855 600	-	14	83 537 800	-	65	116 187 400	+
18	1 179 450	-	24	51 845 100	-	55	84 527 200	-	42	117 176 200	-
19	1 170 000	-	49	52 834 700	+	13	85 507 100	-	26	118 164 500	-
20	1 162 400	-	34	53 824 300	-	75	86 496 200	-	30	119 152 300	-
21	1 154 400	-	47	54 813 700	-	14	87 485 500	-	12	120 140 000	-
22	1 145 630	-	3	55 803 200	-	40	88 475 000	+	3	121 127 600	-
23	1 135 850	-	55	56 792 800	-	16	89 464 700	-	46	122 116 000	+
24	1 125 860	-	20	57 784 500	-	48	90 454 100	-	30	123 105 100	-
25	1 115 900	-	60	58 780 100	-	54	91 443 500	-	47	124 94 100	-
26	1 106 130	-	20	59 771 000	-	52	92 433 500	+	9	125 82 900	-
27	1 096 560	-	57	60 760 800	-	1	93 423 800	-	41	126 72 000	+
28	1 087 110	-	23	61 750 500	-	42	94 414 700	-	54	127 60 900	-
29	1 077 870	-	55	62 740 200	-	26	95 406 300	-	59	128 47 600	-
30	1 068 240	-	20	63 729 800	-	75	96 398 000	-	14	129 33 500	-
31	1 058 540	-	60	64 719 700	+	2	97 388 900	-	17	130 22 300	-
32	1 048 500	-	19	65 710 000	-	33	98 379 300	-	1	131 11 400	-
33	1 038 340	-	60	66 700 700	-	29	99 369 400	-	78	132 600	-

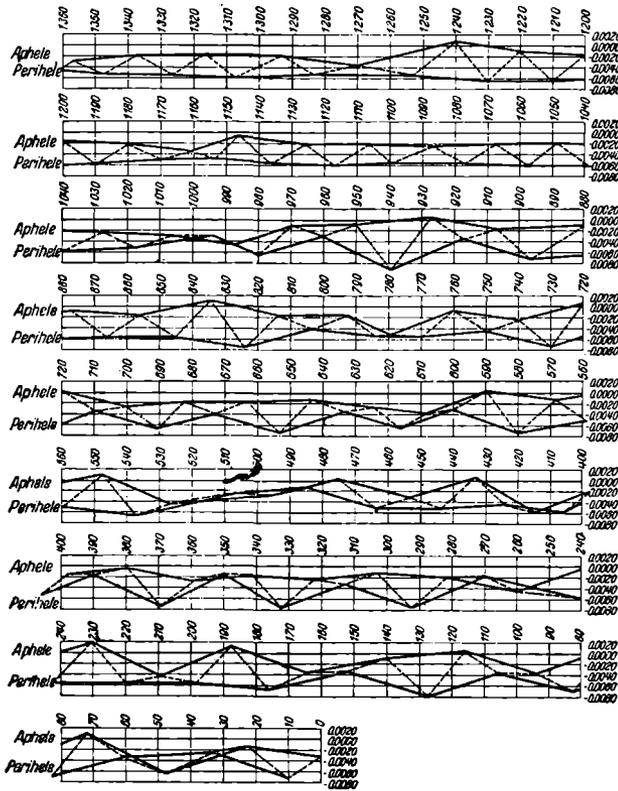


Fig. 3.

um 1 221 080 ein etwas wärmerer Sommer, aber ziemlich kalte Winter, so daß das Jahr kalt war. Bei $\Pi = 90^\circ$ um 1 210 460 herrschten kalte Sommer und besonders kalte Winter und es war daher die Jahrestemperatur sehr niedrig. Das darauffolgende Aphel um 1 199 970 hatte wie das vorausgegangene einen etwas warmen Sommer, aber ziemlich kalten Winter, also kalte Jahrestemperatur. Beim folgenden Perihel um 1 189 600 waren die Sommer- und Wintertemperaturen ungefähr gleich niedrig wie bei dem vorherigen, so daß während dieser ganzen Zeit von 64 280 Jahren die Gletscher bedeutend vorstoßen konnten und bei allgemein großer Exzentrizität die I. Phase der Günz-Eiszeit bildeten. Bei den beiden folgenden Perihelen waren die mittleren Jahrestemperaturen $\Delta S = -0,0049$ und $-0,0047^*)$, so daß vielleicht eine kleine Interstadialzeit von 53 750 Jahren eintrat, die zur II. Phase der Günz-Eiszeit führte, wenn man nicht überhaupt nur eine einheitliche Günz-Eiszeit annehmen wollte. Denn schon nach Vollendung des 3. Perihelumlaufes um 1 135 850, nachdem ihm bei

Sieht man sich die Figur näher an, wobei unsere sommerliche und winterliche Bestrahlungskurve in 45° Breite herangezogen werden muß, so ergibt sich, daß die Günz-Eiszeit um 1 269 180 bei $\Pi = 270^\circ$ bereits mit etwas kühlen Sommern, aber kalten Wintern, demnach mit Gletschervorstoßen eingeleitet wurde. Um 1 253 880 folgten bei $\Pi = 90^\circ$ kalte Sommer und kalte Winter, also kalte Jahre, wodurch es zum Vorstoßen der Gletscher kam. Obwohl dann bei $\Pi = 270^\circ$ um 1 242 610 fast normale Sommer und Winter folgten, sank bei $\Pi = 90^\circ$ um 1 231 100 die Sommer- und besonders die Wintertemperatur tief herunter, so daß ein sehr kaltes Jahr die Folge war. Darauf folgte bei $\Pi = 270^\circ$

*) Im folgenden werden die ΔS nur in Einheiten der 4. Dezimalstelle angeführt.

$\Pi = 270^\circ$ um 1 145 630 ein etwas kühleres Jahr vorausgegangen war, sank die Sommertemperatur und besonders die Wintertemperatur wieder stark herunter, so daß wieder ein recht kühles Jahr herrschte.

Darauf folgte bei $\Pi = 270^\circ$ um 1 125 860 ein zwar ziemlich warmer Sommer, aber ein recht kalter Winter, so daß das Jahr unternormal war, und es folgte bei $\Pi = 90^\circ$ um 1 115 900 wieder ein sehr kühler Sommer und sehr kalter Winter, also eine sehr niedrige Jahrestemperatur.

Damit scheint die Günz-Eiszeit ihren Abschluß gefunden zu haben, nachdem sie insgesamt 153 900 Jahre gedauert hatte; denn die beiden charakteristischen Linienzüge liegen bis etwa 950 000 sehr nahe beieinander, so daß also eine Interglazialzeit (Günz-Mindel) von ungefähr 166 000 Jahren eintrat.

Die Mindel-Eiszeit begann bei $\Pi = 270^\circ$ um 949 300 mit einem zwar warmen Sommer, aber recht kühlen Winter, so daß die mittlere Jahrestemperatur unter dem Normalwerte blieb, aber erst bei dem folgenden Perihel um 938 600 kam sie voll zur Herrschaft, indem die Sommertemperaturen und besonders die Wintertemperaturen sehr tief herabgingen, so daß das Jahresmittel sehr niedrig war. Es herrschte auch eine besonders große Exzentrizität und große Schiefe der Ekliptik.

Obwohl beim nächsten Perihel um 917 900 die Jahrestemperatur nur auf $\Delta S = -38$ herabging, hat der vorhandene Gletschervorstoß auch diese kleine Abschwächung leicht überstanden, da bereits beim folgenden Perihel um 896 500 ein zwar etwas übernormal warmer Sommer, dafür aber ein um so strengerer Winter eintrat, so daß die Jahrestemperatur sehr tief herabsank und den Vorstoß der Vergletscherung vergrößerte.

Bei den beiden folgenden Perihelen um 866 200 und 845 100 sanken die Jahrestemperaturen nur auf $\Delta S = -58$ und -55 herunter, so daß bei dem darauffolgenden Perihel um 824 300 mit einer Jahrestemperatur von $\Delta S = -75$ und bei sehr großer Exzentrizität der Gletschervorstoß seine Mächtigkeit nicht verloren hatte, sondern eher vergrößert wurde. Es hatte daher die Mindel-Eiszeit etwas über 114 000 Jahre gedauert.

Erst nach 94 500 Jahren trat bei $\Pi = 90^\circ$ um 729 800 wieder niedrige Sommer- und sehr niedrige Wintertemperatur ein, so daß die Jahrestemperatur auf $\Delta S = -75$ herabsank und zu einem neuerlichen Gletschervorstoß Anlaß gab, der nach einer Pause von 38 100 Jahren bei $\Pi = 90^\circ$ um 691 700 mit niedriger Jahrestemperatur von $\Delta S = -65$ und nach einer abermaligen Pause von 37 700 Jahren um 653 300 mit einer Jahrestemperatur von $\Delta S = -68$ wieder fortgesetzt wurde.

Diese ruckweisen Gletschervorstöße begannen also 94 500 Jahre nach der Mindel-Eiszeit und endigten 74 000 Jahre vor der Riß-Eiszeit, so daß sie eine Art Brücke in der Mindel-Riß-Interglazialzeit von 245 000 Jahren bildeten.

Der Beginn der Riß-Eiszeit kann bei $\Pi = 90^\circ$ auf 579 300 angesetzt werden, als wieder bedeutend niedrige Sommer- und sehr niedrige Wintertemperaturen eintraten, so daß die Jahrestemperatur auf $\Delta S = -76$ herabging. Beim folgenden Perihel um 558 400 sank die Jahrestemperatur nur auf $\Delta S = -49$ herunter, aber schon beim nächsten um 537 800 fiel sie auf $\Delta S = -65$ herab.

Jetzt näherten sich die beiden charakteristischen Linienzüge und es trat eine Interglazialzeit von 73 100 Jahren Dauer ein. Bei $\Pi = 270^\circ$ um 475 000 herrschten zwar sehr niedrige Sommertemperaturen, aber übernormal hohe Wintertemperaturen, so daß das Jahr eine Temperatur von $\Delta S = +3$ hatte. Bei $\Pi = 90^\circ$ um 464 700 aber herrschten wieder sehr niedrige Sommer- und Wintertemperaturen, so daß das Jahresmittel $\Delta S = -46$ betrug, ebenso beim folgenden Perihel um 443 500 mit einer Jahrestemperatur von $\Delta S = -47$ und hierauf bei $\Pi = 90^\circ$ um 406 300 waren zwar normale Sommertemperaturen, aber sehr niedrige Wintertemperaturen, so daß die Jahrestemperatur auf $\Delta S = -59$ herabsank.

Damit dürfte die Riß-Eiszeit nach 173 000 Jahren Dauer ihr Ende erreicht haben.

Die Jahre mit den zwar sehr niedrigen Jahrestemperaturen bei $\Pi = 90^\circ$ um 369 400 mit $\Delta S = -78$, um 332 400 mit $\Delta S = -75$ und um 292 400 mit $\Delta S = -77$ können nicht als Fortsetzung der Riß-Eiszeit oder als eigene Eiszeit angesehen werden, weil dazwischen Perihelie mit nur Jahrestemperaturen von $\Delta S = -16$ und $\Delta S = -30$ lagen und auch in den Aphelien die Jahrestemperaturen nur auf $\Delta S = -26$, -15 , -24 und -11 herabgingen, sondern sie können nur als eine Art Brücke zur Würm-Eiszeit hinüber angesehen werden, so daß diese Riß-Würm-Interglazialzeit 173 000 Jahre gedauert hätte. Man darf sich aber dieselbe nicht etwa so denken, daß Zustände eingetreten wären, wie sie gegenwärtig vorhanden sind, sondern nur als eine bedeutende Verminderung der Gletschervorstöße und es stünde nichts im Wege, die Ausdehnung der Riß-Eiszeit bis 292 400 anzunehmen, wonach sie also fast 287 000 Jahre gedauert hätte und die Riß-Würm-Interglazialzeit auf 50 100 Jahre vermindert würde.

Die Würm-Eiszeit begann bei $\Pi = 90^\circ$ um 242 300 mit kalten Sommern und sehr kalten Wintern, so daß die Jahrestemperatur auf $\Delta S = -56$ herabsank. Darauf folgte bei $\Pi = 270^\circ$ um 231 100 ein sehr kalter Sommer, aber sehr warmer Winter, so daß die Jahrestemperatur $\Delta S = +20$ erreichte, was zu reichlichen Niederschlägen und daher zur Ernährung der Gletscher Anlaß gab. Beim Perihel um 220 500 herrschten kalte Sommer und sehr kalte Winter mit einer Jahrestemperatur von $\Delta S = -56$, aber darauf bei $\Pi = 270^\circ$ um 209 400 traten sehr warme Sommer ($\Delta S = +31$) ein, allerdings mit sehr niedriger Wintertemperatur, so daß die Jahrestemperatur trotzdem $\Delta S = -42$ betrug. Es ist nun möglich, daß hier infolge

der sehr hohen Sommertemperatur ein Rückzug der Vergletscherung eintrat, so daß die Würm-Eiszeit in zwei Teile geteilt erschien. Oder soll hier die Laufschwankung vermutet worden sein?

Beim folgenden Perihel um 198 300 herrschten wieder sehr niedrige Sommer- und Wintertemperaturen mit einer Jahrestemperatur von $\Delta S = -56$ und darauf folgten bei $\Pi = 270^\circ$ um 187 400 ebenfalls sehr niedrige Sommer-temperaturen, aber gleichzeitig sehr warme Wintertemperaturen, was wiederum zu reichlichen Niederschlägen Anlaß gab, so daß bei $\Pi = 90^\circ$ um 176 200 bei sehr niedrigen Sommer- und Wintertemperaturen und einer Jahrestemperatur von $\Delta S = -63$ der Gletschervorstoß energisch fortschreiten konnte. Es folgten darauf bei $\Pi = 270^\circ$ um 164 500 ($\Delta S = -34$), bei $\Pi = 90^\circ$ um 152 300 ($\Delta S = -29$) und bei $\Pi = 270^\circ$ um 140 000 ($\Delta S = -8$) nicht übertrieben kalte Jahre, so daß hier abermals eine unbedeutende Einschnürung der Würm-Eiszeit möglich war, denn es folgten darauf bei $\Pi = 270^\circ$ um 140 000 kühle Sommer und Winter, Jahr $\Delta S = -8$, und bei $\Pi = 90^\circ$ um 127 600 erreichte die Jahrestemperatur $\Delta S = -79$, allerdings bei etwas wärmerem Sommer, aber sehr strengem Winter.

Damit dürfte das Ende der Würm-Eiszeit eingetreten sein, die demnach 114 700 Jahre gedauert hätte.

In der folgenden Zeit waren keine besonderen Anlässe mehr zur Vergrößerung der Gletschervorstöße, ja bei $\Pi = 270^\circ$ um 94 100 waren sogar sehr warme Sommer, welche jedenfalls eine Abschmelzung der Gletscher verursachten (Achsenschwankung?), nur bei $\Pi = 90^\circ$ um 82 900 traten nochmals kalte Sommer und Winter ein, Jahr $\Delta S = -66$, und bildeten vielleicht das Bühlstadium. Bei $\Pi = 270^\circ$ um 47 600 herrschten sehr warme Sommer, $\Delta S = +23$, welche den Rückgang der Gletscher beschleunigten, so daß auch die niedrige Jahrestemperatur von $\Delta S = -71$ bei $\Pi = 90^\circ$ um 11 400 bei warmen Sommern und allerdings sehr strengen Wintern demselben nicht Einhalt zu machen vermochten.

Nach vorstehender Gliederung der alpinen Eiszeit könnten die gemachten Zeitangaben wohl bei glazialgeologischen Untersuchungen Verwendung finden.

XIII. Die sommerliche und winterliche Bestrahlungskurve in der Nach-Eiszeit

Da in der schon wiederholt genannten Abhandlung von Pilgrim außer für die Perihelstellungen von 90° und 270° auch von 5000 zu 5000 Jahren die Perihellängen, Exzentrizität und Schiefe der Ekliptik angegeben sind, wurden für die Nach-Eiszeit von 94 100 an bis zur Gegenwart auch für diese Zeiten die sommerlichen und winterlichen Bestrahlungen berechnet, weil man damit ein genaueres Bild des Verlaufes derselben erhält, was auch vielleicht für prähistorische Forschungen über das Auftreten des Menschen und die Tier- und Pflanzenverbreitung, besonders auch bei der Pollenforschung von Interesse sein kann.

Das Ergebnis ist analog der früher gegebenen Tabelle über die ganze Eiszeit in der Tabelle 24 zusammengestellt, aber die Bestrahlungsdifferenzen Eiszeit—Gegenwart sind nur für die Breite von 45°, dafür aber sind auch die Differenzen der jährlichen Bestrahlung [$\frac{1}{2}(W + S)$] angeführt.

Tabelle 24. Sommerliche, winterliche und jährliche Bestrahlungsdifferenz $\Delta S =$ Eiszeit—Gegenwart in 45° Br. in der Nach-Eiszeit

Nr.	Jahr vor 1850	II	e	ϵ	δ_m		ΔS		
					Sommer	Winter	Sommer	Winter	Jahr
1	94 100	270·0°	0·0403	24° 8'	21° 56'	— 21° 13'	+ 0·0022	— 0·0095	— 0·0037
2	90 000	331·1	394	24° 18'	21° 54'	— 21° 33'	+ 23	— 128	— 53
3	85 000	55·7	376	23° 55'	21° 7'	— 21° 39'	+ 1	— 140	— 70
4	82 900	90·0	364	23° 39'	20° 51'	— 21° 28'	— 11	— 120	— 66
5	80 000	137·0	349	23° 17'	20° 40'	— 20° 57'	— 16	— 66	— 41
6	75 000	220·1	315	22° 39'	20° 27'	— 20° 7'	— 24	+ 17	— 4
7	72 000	270·0	292	22° 20'	20° 14'	— 19° 46'	— 32	+ 51	+ 10
8	70 000	301·1	276	22° 14'	20° 6'	— 19° 44'	— 36	+ 54	+ 9
9	65 000	25·4	231	22° 29'	20° 4'	— 20° 13'	— 37	+ 6	— 16
10	60 900	90·0	194	22° 56'	20° 23'	— 20° 41'	— 27	— 41	— 34
11	60 000	104·2	186	23° 2'	20° 32'	— 20° 46'	— 22	— 50	— 36
12	55 000	176·2	145	23° 49'	21° 12'	— 21° 26'	+ 2	— 117	— 58
13	50 000	242·3	115	24° 25'	21° 57'	— 21° 45'	+ 23	— 151	— 64
14	47 600	270·0	110	24° 25'	21° 57'	— 21° 45'	+ 23	— 151	— 64
15	45 000	229·0	105	24° 13'	21° 46'	— 21° 35'	+ 19	— 133	— 57
16	40 000	356·6	110	23° 39'	21° 11'	— 21° 9'	0	— 89	— 45
17	35 000	66·5	130	22° 49'	20° 21'	— 20° 32'	— 27	— 25	— 26
18	33 500	90·0	138	22° 37'	20° 9'	— 20° 22'	— 34	— 9	— 22
19	30 000	142·8	156	22° 10'	19° 47'	— 19° 56'	— 47	+ 35	— 6
20	25 000	224·3	175	22° 25'	20° 18'	— 20° 0'	+ 30	+ 26	+ 28
21	22 300	270·0	182	22° 44'	20° 27'	— 20° 13'	— 24	+ 6	— 9
22	20 000	308·1	189	23° 0'	20° 43'	— 20° 28'	— 14	— 19	— 17
23	15 000	30·3	196	23° 43'	21° 8'	— 21° 19'	0	— 107	— 54
24	11 400	90·0	195	24° 5'	21° 23'	— 21° 43'	+ 6	— 147	— 71
25	10 000	112·8	195	24° 14'	21° 31'	— 21° 51'	+ 10	— 159	— 75
26	5 000	195·5	185	23° 59'	21° 19'	— 21° 37'	+ 4	— 136	— 66
27	600	270·0	170	23° 31'	21° 12'	— 20° 55'	+ 2	— 65	— 32
28	0	280·4	168	23° 28'	21° 8'	— 20° 16'	0	0	0
29	5 000	7·9	144	22° 55'	20° 29'	— 20° 32'	— 22	— 25	— 24

Diese Zahlen sind auch durch eine Kurve in Fig. 4 wiedergegeben, wobei in der zeitlichen Abszisse ein etwas größerer Maßstab angenommen wurde (5000 Jahre = 20 mm), wodurch die Kurve etwas verflacht erscheint.

Obwohl A. Penck zwar sagt, daß die Laufen- und Achenschwankung sich nicht halten ließen, sondern ein- und derselben Interglazialzeit angehören, und daß auch das Bühl-, Gschnitz- und Daunstadium sich seither als wenig bedeutend erwiesen haben, sind letztere mit ausgesprochen niedrigen Jahrestemperaturen in der Kurve ersichtlich.

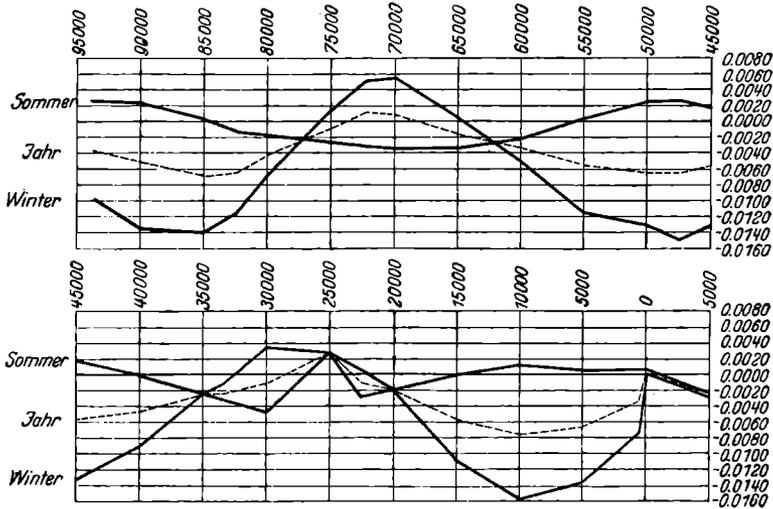


Fig. 4.

Die Bestrahlungskurve in der Nach-Eiszeit gibt uns ein anschauliches Bild über die Gletschervorstöße und -rückgänge. Dabei spielt die mittlere Jahrestemperatur eine große Rolle, weniger die Sommer- und Wintertemperaturen allein. Wenn die mittlere Jahrestemperatur weit unter den Mittelwert herabgeht, treten Gletschervorstöße ein, dabei kommt es hauptsächlich auf sehr niedrige Wintertemperaturen an, welche, wie schon früher eingehender dargelegt wurde, sehr reichliche Niederschläge hauptsächlich in Form von Schnee sowohl im Firngebiet wie auch in tieferen Lagen bringen. Lawinen, welche von den die Gletscher umrahmenden Bergen herabgehen, vermehren den Gletscher. Wenn auf sehr kalte Winter auch wärmere Sommer folgen, so werden die Gletscher doch wenig vermindert, weil sich die winterliche Kälte weit in das Frühjahr hinein, sogar bis in den Anfang des Sommers ausdehnt, so daß der Gletschervorstoß höchstens etwas gehemmt, aber nicht aufgehoben wird; weil bald wieder ein sehr kalter Winter kommt. Dieses wechselnde Spiel von etwa je 10 000 Jahren dauert so lange an, bis wieder durch eine veränderte Perihelstellung, Änderung der Exzentrizität und Schiefe

der Ekliptik allmählich etwas wärmere Jahre heranrücken und eine Interstadial- oder Interglazialzeit mit Rückzug der Vergletscherung hervorbringen.

Während wir in der Einteilung der alpinen Vergletscherung um 82 900 bei einer Jahrestemperatur $\Delta S = -66$ ($S \cdot \Delta S = -11$, $W \cdot \Delta S = -122$) das Bühlstadium zu erkennen glaubten und vermuteten, daß um 11 400 bei einer Jahrestemperatur von $\Delta S = -71$ ($S \cdot \Delta S = +6$, $W \cdot \Delta S = -147$) der Rückzug der Vergletscherung nicht mehr aufzuhalten war, zeigt sich jetzt in der Bestrahlungskurve der Nach-Eiszeit um 85 000 Jahrestemperatur $\Delta S = -70$ ($S \cdot \Delta S = +1$, $W \cdot \Delta S = -140$) und um 82 900 Jahrestemperatur $\Delta S = -66$ ($S \cdot \Delta S = -11$, $W \cdot \Delta S = -120$) ganz deutlich das Bühlstadium mit sehr niedrigen Jahrestemperaturen und besonders kalten Wintern. Die niedrigen Jahrestemperaturen um 55 000 Jahr $\Delta S = -58$ ($S \cdot \Delta S = +2$, $W \cdot \Delta S = -117$), um 50 000 Jahr $\Delta S = -64$ ($S \cdot \Delta S = +23$, $W \cdot \Delta S = -151$), um 47 600 Jahr $\Delta S = -64$ ($S \cdot \Delta S = +23$, $W \cdot \Delta S = -151$) und um 45 000 Jahr $\Delta S = -57$ ($S \cdot \Delta S = +19$, $W \cdot \Delta S = -133$) mit allerdings sehr warmen Sommern zeigen vielleicht doch das Gschnitzstadium an.

Um 25 000 Jahr $\Delta S = +28$ ($S \cdot \Delta S = +30$, $W \cdot \Delta S = +26$) begann ein sehr gewaltiger Rückzug der Vergletscherung, welchen auch die folgenden kalten Jahre um 11 400 Jahr $\Delta S = -71$ ($S \cdot \Delta S = +6$, $W \cdot \Delta S = -147$) und um 10 000 Jahr $\Delta S = -75$ ($S \cdot \Delta S = +10$, $W \cdot \Delta S = -159$), die vielleicht als das Daunstadium angesehen werden können, nicht mehr aufzuhalten vermochten.

Auffallenderweise ging von etwa 22 000 an bis zur Gegenwart die Wintertemperatur weit unter den Normalwert herunter, am stärksten um 10 000 bei größerer Schiefe der Ekliptik ($24^\circ 14'$). Diese ungemein niedrigen Wintertemperaturen mit vermehrten Niederschlägen haben jedenfalls auf das animalische und pflanzliche Leben einen großen Einfluß genommen. Allerdings stiegen gleichzeitig, besonders um 10 000, die Sommertemperaturen etwas an.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß hier auch der von uns nachgewiesene sechsjährige Klimazyklus und die Sonnenfleckperiode^{4j, k)}, die sich zur fünfunddreißigjährigen Brücknerschen, aber auch zu Perioden von 89 bis 90, von 100 bis 102 Jahren usw., je nach der Dauer der etwas unregelmäßigen Sonnenfleckperiode, vereinigen können, den Verlauf des Klimas bedeutend beeinflußt haben. Im sechsjährigen Zyklus der Temperatur eines Ortes kommen nämlich zumeist zwei übernormal kalte und zwei übernormal warme Winter und ebenso Sommer vor, die sich mit der Sonnenfleckperiode verstärken oder auch abschwächen können.

Von der Gegenwart bis etwa 5 000 nach 1850, das ist 6 850 n. Chr., werden die Sommer- und Wintertemperaturen in schwachem Sinken begriffen sein, aber nach dem Verlauf der Exzentrizität zu schließen, gehen wir einer Interglazialzeit von etwa $\frac{1}{2}$ Million Jahren entgegen.

XIV. Die Eiszeit im Äquatorialgebiete

Schon in der Abhandlung „Die Sonnenbestrahlung und die Temperaturverhältnisse während des Eiszeitalters“⁽⁴¹⁾ habe ich an der Hand einer kleinen Tabelle gezeigt, daß bei der Perihellänge $\Pi = 270^\circ$ und großer Exzentrizität ($e = 0.07$) die kalten Sommer der Nordhemisphäre über den Äquator hinweg mit den südlichen kühlen Wintern korrespondieren, so daß die Möglichkeit des Übergreifens einer Eiszeit der Nordhemisphäre auf die Südhemisphäre über den Äquator nicht ohne weiteres zurückgewiesen werden darf.

Die Frage, ob es in den äquatorialen Hochgebirgen auch eine Eiszeit gegeben habe, hat Professor Dr. Hans Meyer durch seine Forschungsreisen im tropischen äquatorialen Afrika und in den Anden von Ecuador im bejahenden Sinne beantwortet. Nach einem Referate über die Ergebnisse seiner Reisen von J. Hann¹⁷⁾ haben in der Diluvialzeit die Gletscher im äquatorialen Afrika (am Kilimandscharo 6 010 m) etwa 800, stellenweise sogar 1000 m tiefer am Gebirge herabgereicht als in der Jetztzeit. Gleiche Ergebnisse fanden dann später auch andere Reisende am Runsoro und Kenia.

„In den Anden von Ecuador lag in der Glazialzeit die Firngrenze bei 4200 bis 4250 m. Die Gletscherzungen reichten bis zu 3800 bis 3700 m herab. Die Firngrenze lag demnach damals (in der jüngsten Glazialzeit) um 500 bis 600 m tiefer, die Gletschergrenze um 800 bis 900 m. Diese Periode zeichnete sich nicht bloß durch vermehrte Niederschläge, sondern auch durch eine niedrige Temperatur aus, die für Ecuador im Mittel um etwa 3° niedriger gewesen sein dürfte.“

„Am Kilimandscharo, wo die Vergletscherung auf der West- und Südseite am stärksten ist, liegt die Grenze jetzt bei 4800 m, in der Glazialzeit lag sie 1000 m tiefer, die Firngrenze etwa 500 m. Für den Kenia kann man 900 bis 1000 m und 450 bis 500 m Depression annehmen. Auch für Peru und Bolivia dürften dieselben Zahlen gelten. So darf man also für den Tropengürtel überhaupt eine Depression der diluvialen Firnlinie um 500 bis 600 m annehmen. Für das große Becken von Nordamerika (um 40° n. Br. herum) darf man die Depression zu 1000 m, für die Pyrenäen zu 1100, für die Alpen zu 1250 m ansetzen. Die Erniedrigung der Firnlinie in der Glazialzeit war demnach in den Tropen um etwa 600 bis 700 m geringer, innerhalb derselben aber nahezu die gleiche.“

Es läßt sich nun nach unserer astronomisch-meteorologischen Theorie der Eiszeit zeigen, daß auch im Äquatorialgebiete die Temperatur derart herunterging, daß es zum Vordringen der Vergletscherung kommen mußte.

In dem Abschnitte „Extreme der Bestrahlung“ ist ein Beispiel über die Bestrahlungsdifferenzen Eiszeit—Gegenwart beider Hemisphären beim Maxi-

imum der Exzentrizität $e = 0.07775$ und beim Maximum der Schiefe der Ekliptik $\epsilon = 27^\circ 48'$ für $\Pi = 90^\circ$ und $\Pi = 270^\circ$ angeführt:

Tabelle 25. Bestrahlungen bei $e = 0.07775$ und $\epsilon = 27^\circ 48'$

Br. N	$\Pi = 90^\circ$			$\Pi = 270^\circ$		
	Sommer	Winter	Jahr	Sommer	Winter	Jahr
60°	+ 0.0081	- 0.0432	- 0.0175	+ 0.0102	- 0.0477	- 0.0187
45°	+ 79	- 391	- 156	+ 115	- 434	- 159
30°	+ 22	- 330	- 157	+ 29	- 367	- 169
0°	- 119	- 160	- 140	- 194	- 179	- 187
30°	- 245	+ 35	- 105	- 385	+ 36	- 175
45°	- 287	+ 112	- 88	- 454	+ 122	- 166
60°	- 315	+ 119	- 99	- 499	+ 125	- 187
S	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr

Bei großer Exzentrizität, also in den Eiszeiten, gehen bei größerer Schiefe der Ekliptik mäßig übernormale Sommertemperaturen von 30° Br. an über den Äquator in strenge Wintertemperaturen der südlichen Hemisphäre über, ebenso gehen im Winter sehr niedrige Temperaturen über den Äquator nach 30° s. Br. mit mäßig übernormalen Sommern der südlichen Hemisphäre über, und zwar bei $\Pi = 90^\circ$ und 270° . Das Jahresmittel bleibt in beiden Hemisphären von 60° N bis 60° S weit unter dem Mittelwerte, so daß also mit einer gleichzeitigen Eiszeit auf beiden Hemisphären auch der Äquator eine solche hat.

XV. Beziehungen zwischen Temperatur und Niederschlag in der Eiszeit

Bei den Erklärungsversuchen der Vergletscherungen in der Eiszeit wurden wiederholt die Beziehungen zwischen den Temperaturverhältnissen und den Niederschlägen im Winter und Sommer hervorgehoben, welchen Einfluß kalte und warme Winter und Sommer auf die Niederschläge und Gletscherbildung haben. Die Behauptungen und Vermutungen gehen vielfach auseinander, ohne dafür Beweise zu erbringen.

Im nachfolgenden soll nun eine Aufklärung darüber versucht werden.

Nach R. Billwiler¹⁸⁾ fand in den Jahren 1910—1920 ein kleiner Vorstoß der Alpengletscher statt und er zeigte, daß der Vorstoß mit einer Erniedrigung der Sommertemperatur und Erhöhung der Wintertemperatur verbunden war, während im folgenden Jahrzehnte bei gleichbleibendem Niederschlag, aber vergrößerter Temperaturschwankung der allgemeine Rückzug der Gletscher von neuem einsetzte. Damit würde hauptsächlich eine stärkere Zunahme der Sommertemperatur, wenngleich auch gleichzeitig eine Erniedrigung der Wintertemperatur eintritt, die Abschmelzung und den Rückzug der Gletscher verursachen.

Zur näheren Untersuchung wurden die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse von Zürich (8·6° ö. Gr. 47·4° N. H = 477 m) nach World Weather Records 1889—1930 herbeigezogen. Aus den 16 kalten und 24 warmen Wintern sowie aus 20 kalten und 20 warmen Sommern (die Temperaturen des Winters 1908 und der Sommer 1915 und 1925 waren normal) ergab sich die Tabelle 26.

Tabelle 26. Niederschläge in Zürich (1889—1930)
(8·6° ö. Gr. 47·4° N. H = 477 m)

Jahreszeit	Winter		Sommer	
	kalt	warm	kalt	warm
Mittlere Temperaturanomale . .	— 1·8°	+ 1·3°	— 0·8°	+ 0·8°
Summe der Niederschläge mm. .	2 266	5 098	8 187	6 506
Anzahl der Jahre	16	24	20	20
Mittlerer jährl. Niederschlag mm.	141·6	212·4	409·4	325·3
% des ganzen jahreszeitl. Nieder- schlages	30·8	69·2	55·7	44·3

Warme Winter und kalte Sommer haben demnach größere Niederschläge als kalte Winter und warme Sommer.

Für die 11 Jahre 1910—1920 ergaben sich die in der Tabelle 27 angeführten mittleren Niederschlagssummen in den warmen Wintern und kalten Sommern, neben welchen die winterlichen und sommerlichen Mittelwerte für die ganze benutzte Zeit von 1890—1930 als Normalwerte gesetzt sind.

Tabelle 27.

Niederschläge 1910—1920 (mm)

Ort	Winter warm		Sommer kalt	
	beob.	normal	beob.	normal
Temperaturanomalie	+1.7°	+1.3°	—1.0°	—0.8°
Zürich.	211	185	380	363
Säntis	840	688	985	882
Sonnblick	360	369	410	407
Obir	283	245	503	505

Es hatte demnach der Zürich benachbarte Säntis (9.3° ö. Gr. 47.3° N. H = 2500 m) ebenso wie Zürich, aber in verstärktem Ausmaße, in den warmen Wintern und kalten Sommern 1910—1920 bedeutend größere Niederschläge als normal, die hier jedenfalls als Schnee gefallen sind und die Vergletscherung verstärkten, während entfernter vom schweizerischen Alpengebiete am Sonnblick (13.0° ö. Gr. 47.0° N. H = 3106 m) und Obir (14.5° ö. Gr. 46.5° N. H = 2044 m) ziemlich normale Niederschlagsverhältnisse herrschten.

Ganz gleiche Verhältnisse wie Zürich, nämlich stärkere Niederschläge in warmen Wintern und kalten Sommern, zeigen auch die in der Tabelle 28 angeführten untersuchten Orte, so daß also diese Beziehungen zwischen Temperaturanomale und Niederschlag für Europa wohl ganz allgemein gelten dürften, wie dies übersichtlich Tabelle 29 zeigt.

Die hier gefundene Tatsache, daß warme Sommer und kalte Winter einen Rückzug und kalte Sommer und milde Winter einen Vorstoß der Gletscher verursachen, modifiziert auch einigermaßen unsere Deutung der Bestrahlungskurve in der Nach-Eiszeit. Die mittlere Jahrestemperatur $\frac{S + W}{2}$ ist kein sicheres Kriterium für Gletschervorstöße und -rückzüge,

weil $\frac{\text{warme } S + \text{kalte } W}{2}$ auch gleich $\frac{\text{kalte } S + \text{warme } W}{2}$ sein können.

Es läßt sich dies am besten durch die Tabelle 30 zeigen.

Tabelle 28. Niederschläge in kalten und warmen Wintern
und Sommern einiger Orte Europas

Ort	Winter		Sommer	
	kalt	warm	kalt	warm
Wien (1890—1932) 16·4° ö. Gr. 48·2° N. H = 263 m	— 1·8° 2 156 17 126·8 40·0	+ 1·1° 3 232 26 124·3 60·0	— 0·7° 6 107 23 265·5 63·6	+ 0·9° 3 497 19 184·1 36·4
Klagenfurt (1851—1930) 14·3° ö. Gr. 46·6° N. H = 446 m	— 1·9° 5 188 39 129·7 49·4	+ 1·5° 5 320 40 133·0 50·6	— 0·6° 15 548 40 388·7 58·9	+ 0·6° 10 840 36 301·1 41·1
Berlin (1889—1930) 13·4° ö. Gr. 52·6° N. H = 35 m	— 1·9° 1 658 15 110·5 33·5	+ 1·3° 3 285 24 136·9 66·5	— 0·8° 4 223 20 210·7 51·3	+ 0·6° 3 998 22 181·7 48·7
Lissabon (1889—1930) 9·1° w. Gr. 38·7° N. H = 95 m	— 0·6° 4 992 20 249·6 50·0	+ 0·5° 4 992 18 277·3 50·0	— 0·6° 819 21 39·0 72·4	+ 0·7° 313 18 17·4 27·6
Obir (1880—1937) 14·5° ö. Gr. 46·5° N. H = 2044 m	— 1·3° 5 667 24 236·1 42·5	+ 1·0° 7 681 31 247·8 57·5	— 1·0° 16 749 31 540·3 57·9	+ 0·8° 12 181 26 468·5 42·1
Sonnblick (1891—1936) 13·0° ö. Gr. 47·0° N. H = 3106 m	— 1·3° 7 867 20 393·4 47·7	+ 1·0° 8 640 26 332·3 52·3	— 0·6° 10 839 25 433·6 61·4	+ 0·8° 6 803 19 358·1 38·6

Die Reihenfolge der horizontalen Daten ist wie für Zürich in Tabelle 26.

Tabelle 29. Übersicht über die prozentuelle Verteilung der Niederschlagssummen in kalten und warmen Wintern und Sommern

Ort	Winter		Sommer	
	kalt	warm	kalt	warm
Wien	40·0%	60·0%	63·6%	36·4%
Klagenfurt	49·4%	50·6%	58·9%	41·1%
Berlin	33·5%	66·5%	51·3%	48·7%
Zürich	30·8%	69·2%	55·7%	44·3%
Lissabon	50·0%	50·0%	72·4%	27·6%
Sonnblick	47·7%	52·3%	61·4%	38·6%
Obir	42·5%	57·5%	57·9%	42·1%
Mittel	42·0%	58·0%	60·2%	39·8%

In die Vorstöße um 75 000—65 000 fügt sich sehr schön das Bülhstadium, um 35 000—30 000 das Gschnitzstadium und um 22 300—20 000 das Daunstadium ein, obwohl A. Penck neuerdings dieselben für wenig bedeutend hält, da sie gewiß in diesen kurzen Vorstößen von 10 000, 5 000 und 2 000 Jahren kaum erkenntlich sein dürften.

Da die Bestrahlungsverhältnisse in der eigentlichen Eiszeit nicht so eingehend wie in der Nach-Eiszeit behandelt werden konnten, läßt sich für dieselbe nicht eine gleiche Gliederung wie für die Nach-Eiszeit geben.

Die alpinen Eiszeiten haben weder einen scharfbegrenzten Anfang noch ein solches Ende gefunden, sondern sie wurden allmählich eingeleitet und sind auch so langsam ausgeklungen. Wenn sie auch zeitweilig geruht haben (Interglazialzeiten), so können doch in diesen Zeiten auch kleinere Gletschervorstöße sowie andererseits in den Glazialzeiten vorübergehend Ruhepausen und Gletscherrückgänge eingetreten sein. Diese intermittierenden Zustände können von den Glazialgeologen in den alten Moränen wohl kaum erkannt werden.

Es seien nur die in unserer Bestrahlungskurve in der Eiszeit besonders hervortretenden Rückzüge der Vergletscherung angeführt, die durch positive Abweichungen der Sommertemperatur von der gegenwärtigen gekennzeichnet sind.

Der Rückzug um 1 221 080 und 1 199 970 dürfte die Günz-Eiszeit in zwei Phasen geteilt haben, ebenso der Rückzug um 907 500—896 500 die Mindel-Eiszeit, die auch noch um 855 600 und 813 700 stärkere Rückzüge zeigte.

Tabelle 30. Gliederung der Nach-Eiszeit

Jahr vor 1850	Δ S			Mittel			Anmerkung
	Sommer	Winter	S—W	Sommer	Winter	S—W	
94 100	+ 22	— 95	117	+ 15	— 121	136	Rückzug (Achen- schwankung) Stillstand
90 000	+ 23	— 128	151				
85 000	+ 1	— 140	141				
82 900	— 11	— 120	109	— 14	— 93	79	
80 000	— 16	— 66	50				
75 000	— 24	+ 17	— 41	— 32	+ 32	— 64	Vorstoß (Bühl)
72 000	— 32	+ 51	— 83				
70 000	— 36	+ 54	— 90				
65 000	— 37	+ 6	— 43				
60 900	— 27	— 41	14	— 25	— 46	21	Stillstand
60 000	— 22	— 50	28				
55 000	+ 2	— 117	119	+ 17	— 138	155	Rückzug
50 000	+ 23	— 151	174				
47 600	+ 23	— 151	174				
45 000	+ 19	— 133	152	0	— 89	89	Stillstand
40 000	0	— 89	89				
35 000	— 27	— 25	— 2	— 36	0	— 36	Vorstoß (Gschnitz)
33 500	— 34	— 9	— 25				
30 000	— 47	+ 35	— 82				
25 000	+ 30	+ 26	4	+ 30	+ 26	4	Rückzug
22 300	— 24	+ 6	— 30	— 19	— 7	— 12	Vorstoß (Daun)
20 000	— 14	— 19	5				
15 000	0	— 107	107	0	— 107	107	Stillstand
11 400	+ 6	— 147	153	+ 6	— 127	133	Rückzug
10 000	+ 10	— 159	169				
5 000	+ 4	— 136	140				
600	+ 2	— 65	67				
0	0	0	0	—	—	—	—

Die Bestrahlungsdifferenzen Eiszeit—Gegenwart Δ S sind in Einheiten der 4. Dezimalstelle gegeben.

In der Mindel-Riß-Interglazialzeit trat um 740 200 ein stärkerer Rückzug ein. In der Riß-Eiszeit war schon anfangs um 568 800 ein bedeutender Rückzug vorhanden, der sich etwas schwächer um 527 200 und ziemlich stark um 454 100 wiederholte. Ihren Abschluß fand die Riß-Eiszeit durch zwei Rückzüge um 414 700—406 300.

In der folgenden Riß-Würm-Interglazialzeit setzten etwas auffälligere Rückzüge von 379 300—369 400 und von 332 400—322 600 sowie vor Beginn der Würm-Eiszeit um 256 900 ein.

In der Würm-Eiszeit trat ein gewaltiger Rückzug um 209 400 ein (Laufenschwankung), der dieselbe in zwei Teile geteilt zu haben scheint, und auch um 164 500 erfolgte ein solcher, so daß sie vielleicht sogar in drei Teile zerissen war. Ein Rückzug trat auch um 94 100 ein und bildete die Achenchwankung. Die weiteren Rückzüge in der Nach-Eiszeit wurden schon früher eingehend besprochen.

Die vorstehende Untersuchung ist auch sehr lehrreich für die Abschätzung unserer Bestrahlungsdifferenzen Eiszeit—Gegenwart in Temperaturgrade. Aus der Tabelle 30 ersieht man, daß eine sommerliche Bestrahlungsdifferenz von $\Delta S = -0.0030$ bereits Gletschervorstöße verursacht, mit der in Zürich in den Jahren 1910—1920 eine Temperaturerniedrigung von -1.0° verbunden war; dies gibt für $\Delta S = 0.0001$ 0.033° .

Die größte Abweichung in 45° Br. war in der Mindel-Eiszeit um 917 900 vor 1850 $\Delta S = -0.0054$ und gibt daher -1.8° und in 60° Br. $\Delta S = -0.0062$ -2.1° . Diese Temperaturdepressionen haben aber mindestens während eines ganzen Perihelumlaufts von 20 000 Jahren gedauert, so daß, zumal damit auch bei milden Wintertemperaturen größere Niederschläge, und zwar im Gebirge als Schnee verbunden waren, ein Vorstoß der Vergletscherung leicht denkbar ist.

Andererseits erreichte das Sommermaximum um 209 400 vor 1850 in 45° Br. $\Delta S = +0.0031$, d. i. $+1.0^\circ$ und in 60° Br. $\Delta S = +0.0036$, d. i. $+1.2^\circ$, allerdings bei trockener Wintertemperatur von $\Delta S = -0.0115$ (-3.8°) bzw. $\Delta S = -0.0128$ (-4.2°), was einen kurzen Rückzug der Vergletscherung in der Würm-Eiszeit (Laufenschwankung) verursachte.

Damit sind auch die Gletschervorstöße im Äquatorialgebiet leicht erklärlich, wo sommerliche Bestrahlungsdifferenzen bis $\Delta S = -0.0044$ (-1.4°) auftraten.

XVI. Wärme- und Kälteperioden höherer Ordnung

Wenn man die von Farland angegebenen Exzentrizitäten von 3 260 000 vor 1850 bis 1 260 000 nach 1850 in einer Kurve darstellt — eine solche ist am Schlusse in unserem Buche „Das Klima des Eiszeitalters“ gegeben —, so fällt zunächst auf, daß im allgemeinen je zwei größere und zwei kleinere Wellenberge die ganze Kurve gleichmäßig durchziehen. Die Tabelle 31 gibt die Zeiten dieser 4 Maxima und die dazugehörigen Exzentrizitäten. Der Querstrich in der Zeitrubrik teilt die Zeit vor und nach 1850 ab.

Tabelle 31. Die Maxima der Exzentrizität

I. Maximum		II. Maximum		III. Maximum		IV. Maximum	
Zeit	e	Zeit	e	Zeit	e	Zeit	e
—	—	—	—	—	—	3 240 000	0-0153
3 140 000	0-0477	3 040 000	0-0580	2 940 000	0-0467	2 850 000	319
2 770 000	474	2 670 000	537	2 570 000	411	2 500 000	352
2 400 000	571	2 300 000	620	2 200 000	425	2 110 000	231
2 030 000	405	1 940 000	331	1 840 000	095	1 760 000	188
1 680 000	383	1 590 000	438	1 480 000	314	1 400 000	222
1 310 000	434	1 210 000	472	1 120 000	376	1 050 000	375
940 000	616	840 000	649	750 000	410	670 000	348
570 000	535	470 000	437	370 000	206	300 000	373
210 000	471	100 000	408	10 000	195	60 000	145
150 000	288	250 000	325	340 000	188	400 000	296
510 000	536	610 000	577	700 000	349	790 000	364
880 000	568	980 000	478	1 070 000	272	1 150 000	502
1 250 000	604	—	—	—	—	—	—
Mittel	0-0480	—	0-0488	—	0-0309	—	0-0310

Die Aufeinanderfolge der Maxima ist eine recht regelmäßige, die Amplituden der Exzentrizität aber sind schon unregelmäßig. Trotzdem ist aber im Verlaufe derselben eine Periode höherer Ordnung ganz offensichtlich. Dieselbe tritt am klarsten zutage, wenn man für die Mittel der Eintrittszeiten der beiden Hauptmaxima und der beiden Nebenmaxima auch die Mittel der Exzentrizität bildet.

Tabelle 32.

$\frac{1}{2}$ (I. + II. Max.)		$\frac{1}{2}$ (III. + IV. Max.)		Differenz beider Zeiten
Zeit	e	Zeit	e	
3 090 000	0·0529	2 895 000	0·0393	195 000
2 720 000	505	2 535 000	382	185 000
2 350 000	596	2 155 000	328	195 000
1 985 000	368	1 800 000	142	185 000
1 635 000	410	1 440 000	268	195 000
1 260 000	453	1 085 000	375	175 000
890 000	632	710 000	379	180 000
520 000	486	335 000	290	185 000
155 000	440	25 000	170	180 000
200 000	307	370 000	242	170 000
560 000	557	745 000	356	185 000
930 000	523	1 110 000	387	180 000
Mittel	0·0484	—	0·0309	184 170

Der Verlauf dieser Periode höherer Ordnung ist in der nebenstehenden Zeichnung (Fig. 5) dargestellt. Da nach unseren Untersuchungen eine Eiszeit im allgemeinen eintritt, wenn die Exzentrizität 0·04 überschreitet, ist in der Zeichnung diese Linie zur Abgrenzung der Wärme- und Kälteperioden punktiert hervorgehoben.

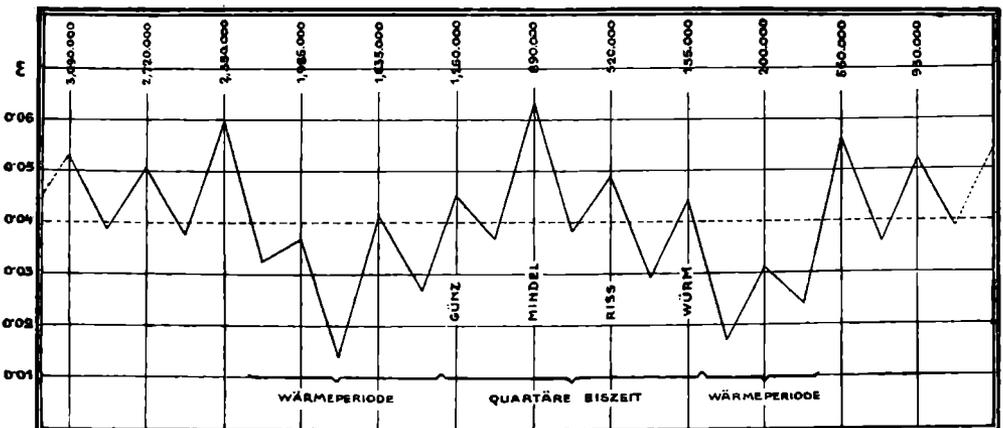


Fig. 5.

Es ergibt sich daraus beiläufig folgende Abgrenzung der kalten und warmen Perioden höherer Ordnung:

Kalte Periode von	3 300 000—2 252 000	= 1 048 000 Jahre
Warme Periode von	2 252 000—1 330 000	= 922 000 Jahre
Quartäre Eiszeit von	1 330 000— 50 000	= 1 280 000 Jahre
Warme Periode von	50 000— 480 000	= 530 000 Jahre
Kalte Periode von	480 000—1 500 000	= 1 020 000 Jahre

Es wechseln also kalte und warme Perioden höherer Ordnung von ungefähr einer Million Jahren Dauer ab und eine solche kalte Periode war die quartäre Eiszeit. Ob die vorausgegangene kalte und warme Periode von beiläufig 2 Millionen Jahren als das Jungtertiär zu bezeichnen ist, welches durch einen allmählichen Rückgang des tropischen Klimas des Alttertiärs eingeleitet gegen Ende beiläufig dieselben Temperaturverhältnisse aufwies, wie sie gegenwärtig herrschen, darüber möchte ich keine weiteren Vermutungen und Betrachtungen anstellen, weil in dieser Zeit auch gewaltige tektonische Vorgänge sich vollzogen haben.

In die Zukunft blickend ergibt sich, daß wir zunächst bis etwa 480 000 eine warme Periode vor uns haben, der aber wieder eine große Eiszeit von mehr als einer Million Jahren folgen wird.

Zum Schlusse sei noch an eine Abhandlung von mir erinnert, „Die Wärmestrahlung der Milchstraße als mögliche Ursache der Eis- und Interglazialzeiten der Erde“^(4m), worin gezeigt wird, daß durch die wechselnde Stellung der Erdachse zur Milchstraße Änderungen in der Wärmestrahlung durch die vielen Sterne derselben in den verschiedenen Breiten der Erde eintreten können.

Infolge der Präzession beschreibt nämlich der Himmelpol um den Pol der Ekliptik in ungefähr 26 000 Jahren (Platonisches Weltjahr) einen Kreis von beiläufig $23\frac{1}{2}^{\circ}$ Radius. Auf diese Weise rücken der Nord- und Südpol gegenwärtig immer näher in die Milchstraße hinein, sowie sie andererseits um 47° abseits derselben zu liegen kommen können.

Es schwingt sich also das vielmehr als der übrige Himmel wärmestrahlende Band der Milchstraße bald vom Nordpol über den Äquator zum Südpol, bald aber neigt es sich von dieser Lage um 47° ab, so daß es mehr parallel zum Äquator zu liegen kommt. Damit muß aber auch eine Änderung der Verteilung der von der Milchstraße zugestrahlten Wärme auf der Erde erfolgen.

Auf meine Anregung hat nun damals Fr. Hopfner unter gewissen vereinfachenden Annahmen näher untersucht, wie sich die Wärmeverteilung auf der Erde ändern würde, wenn sie in einem wärmespendenden Ringe von veränderlicher Neigung rotierte. Er fand für die beiden extremen Lagen des Ringes, erstens wenn dieselbe mit der Äquatorebene zusammenfällt.

(Neigung gleich 0°) und zweitens wenn sie auf ihr senkrecht steht (Neigung gleich 90°), die folgenden Relativzahlen der Sternenwärme auf den einzelnen Breitenkreisen:

Geogr. Br.	0°	$\pm 10^\circ$	$\pm 20^\circ$	$\pm 30^\circ$	$\pm 40^\circ$	$\pm 50^\circ$	$\pm 60^\circ$	$\pm 70^\circ$	$\pm 80^\circ$	$\pm 90^\circ$
Neig. = 0°	1.0000	0.9848	0.9397	0.8660	0.7660	0.6428	0.5000	0.3420	0.1736	0.0000
Neig. = 90°	0.6366	0.6621	0.7120	0.7710	0.8311	0.8869	0.9342	0.9701	0.9924	1.0000

Die Himmelspole lagen nun vor ungefähr 6500 Jahren am weitesten von der Milchstraße entfernt und nähern sich gegenwärtig derselben. Nach de Geer war das letzte Klimaoptimum vor 6000 Jahren, so daß also, wenn in der wechselnden Lage der Milchstraße zur Rotationsachse der Erde die Ursache der Eis- und Interglazialzeiten gelegen wäre, die Interglazialzeiten eintreten, wenn die Erdpole abseits der Milchstraße liegen, wo es dann nach den obigen Zahlen (Neigung gleich 0°) am Äquator wärmer, am Pole aber kälter als jetzt wäre. Hingegen würde eine Eiszeit eintreten, wenn die Pole in die Milchstraße rücken und es dann am Äquator kühler, an den Polen aber wärmer wird.

Auf die durch diese Änderung der Wärmeverteilung auf der Erde eintretenden meteorologischen und ozeanischen Verhältnisse, Verstärkung der warmen Meeresströmungen bei größerer Erwärmung der Äquatorialgegenden und infolgedessen größerer Wärmetransport in höhere Breiten, hingegen Hemmung dieser Faktoren bei Abkühlung des Äquatorialgebietes, dafür aber einige Erwärmung der Polargegenden, soll hier nicht näher eingegangen werden.

Es würde daher die Dauer der Periode der Eis- und Interglazialzeiten von ungefähr 26 000 Jahren sein. Da dieselben aber auch von den Perihelumläufen abhängig sind, welche durchschnittlich 20 800 Jahre dauern, würde sich, da 4 Umläufe zu 26 000 Jahren gleich 5 Umläufen zu 20 800 Jahren, also 104 000 Jahre sind, in etwa dieser Zeit eine Periode höherer Ordnung der Eis- und Interglazialzeiten abspielen und tatsächlich zeigen sich der Größenordnung nach solche Perioden in der Untergliederung der alpinen Eiszeit.

Damit wäre auch leicht verständlich, daß die Eiszeiten auf beiden Hemisphären gleichzeitig eingetreten sind, wie dies jetzt wohl allgemein angenommen wird, woran aber die meisten Erklärungsversuche der Eiszeiten gescheitert sind.

XVII. Schlußfolgerung

Aus den vorstehenden Darlegungen hat sich wohl jeder Paläoklimatologe und Glazialgeologe seine Folgerungen gezogen und so braucht wohl auch der Verfasser dieser Schrift mit seiner persönlichen Ansicht nicht zurückzuhalten, wenn derselben auch der hervorragende Erforscher der alpinen Eiszeit A. Penck vielleicht nicht zustimmt, weil damit die Gliederung der alpinen Eiszeit doch etwas geändert wird oder anders gedeutet werden muß.

Wir haben gezeigt, daß bei sehr kalten Sommern und milden Wintern die Gletscher vorstoßen, bei warmen Sommern und strengen Wintern aber zurückgehen. Sieht man sich aber die große Tabelle der Bestrahlungsdifferenzen Eiszeit—Gegenwart an, so gewahrt man, daß die positiven und negativen Abweichungen der Sommer in 45° Br. und ebenso in 30° und 60° Br. sehr unregelmäßig abwechseln, nicht aber daß sie in den vier Eiszeiten vorwiegend negativ und in den Interglazialzeiten vorwiegend positiv gewesen wären.

Es ergeben sich folgende Mittelwerte in den Glazialzeiten nur bei wirklichen Vorstößen, also ΔS durchwegs negativ, neben welchen auch in Klammern die ihnen entsprechenden Temperaturen nach dem Umrechnungsfaktor $\Delta S = 0\cdot0001 = 0\cdot033^\circ$ angeführt sind:

Eiszeit	Sommer	Winter
Günz	— 12 (— 0·4°)	— 86 (— 2·8°)
Mindel.	— 21 (— 0·7°)	— 68 (— 2·2°)
Riß	— 21 (— 0·7°)	— 42 (— 1·4°)
Würm	— 23 (— 0·8°)	— 35 (— 1·2°)

hingegen auch mit Rücksicht auf die vorkommenden positiven Abweichungen:

Eiszeit	Sommer	Winter
Günz	— 7 (— 0·2°)	— 67 (— 2·2°)
Mindel.	— 11 (— 0·4°)	— 62 (— 2·0°)
Riß	— 9 (— 0·3°)	— 58 (— 1·9°)
Würm	— 12 (— 0·4°)	— 58 (— 1·9°)

Für die dazwischenliegenden Interglazialzeiten ergeben sich bei wirklichen Gletscherrückzügen, also durchwegs positiver Abweichung, die folgenden Mittelwerte:

Interglazialzeit	Sommer	Winter
Günz—Mindel	+ 3 (+ 0·1°)	— 57 (— 1·9°)
Mindel—Riß	+ 5 (+ 0·2°)	— 75 (— 2·5°)
Riß—Würm	+ 5 (+ 0·2°)	— 104 (— 3·4°)

und ganz allgemein:

Interglazialzeit	Sommer	Winter
Günz—Mindel	— 7 (— 0·2°)	— 64 (— 2·1°)
Mindel—Riß	— 12 (— 0·4°)	— 31 (— 1·0°)
Riß—Würm	— 13 (— 0·4°)	— 49 (— 1·6°)

Für die ganze Eiszeit von 1361540 bis zur Gegenwart:

Sommer	Winter
— 10 (— 0·3°)	— 58 (— 1·9°) ,

also ein allgemeiner Vorstoß der Gletscher während der ganzen Eiszeit.

Es zeigt sich demnach in den Glazial- und Interglazialzeiten kein wesentlicher Unterschied in den Bestrahlungsdifferenzen, wie sie eben von halbem zu halbem Perihelumlaf aufeinanderfolgen und sie stimmen ganz mit dem allgemeinen Ergebnis der ganzen Eiszeit überein. Nur die wirklichen Gletschervorstöße zeigen in den Sommern eine etwas größere negative Bestrahlungsdifferenz, ebenso die wirklichen Gletscherrückzüge in den Interglazialzeiten eine kleine positive.

Faßt man aber auch in den Glazialzeiten, also bei Gletschervorstößen, und in den Interglazialzeiten, also bei Gletscherrückzügen, die Gletscherrückzüge bzw. -vorstöße in Mittelwerten zusammen, so erhält man:

Rückzüge:

Eiszeit	Sommer	Winter
Günz	+ 3 (+ 0·1°)	— 27 (— 0·9°)
Mindel	+ 6 (+ 0·2°)	— 52 (— 1·7°)
Riß	+ 13 (+ 0·4°)	— 88 (— 2·9°)
Würm	+ 17 (+ 0·6°)	— 120 (— 3·9°)

Vorstöße:

Interglazialzeit	Sommer	Winter
Günz—Mindel	— 15 (— 0·5°)	— 70 (— 2·3°)
Mindel—Riß	— 19 (— 0·6°)	— 50 (— 1·7°)
Riß—Würm	— 24 (— 0·8°)	— 12 (— 0·4°)

also analoge mittlere Differenzen, wie sie bei den Interglazial- bzw. Glazialzeiten gefunden wurden.

Es kann also meines Erachtens nicht von einer ausgesprochenen Gliederung der alpinen Eiszeit gesprochen werden, sondern es wechselten Gletschervorstöße mit -rückzügen, aber so, daß die Vorstöße in der Eiszeit überwiegen, und es behalten diejenigen Recht, welche die Eiszeit als eine einheitliche Erscheinung annahmen, die von Oszillationen der Gletscherenden unterbrochen war. Auch die Glazialspuren in anderen Gegenden lassen sich nicht mit der alpinen Gliederung in vollen Einklang bringen.

Literatur

1. Chr. Wiener, Über die Stärke der Bestrahlung der Erde durch die Sonne in den verschiedenen Breiten und Jahreszeiten. Schlömilchs Zeitschr. für Mathematik und Physik, 1877. Auch Zeitschr. der österr. Ges. für Meteorologie. Band XIV. Wien 1879.

2. Fr. Hopfner, a) Die Verteilung der solaren Wärmestrahlung auf der Erde. Sitzungsber. der Kaiserl. Akademie der Wiss. in Wien. Math.-naturw. Kl., Band CXIV, Abt. IIa, 1905.

b) Über die Größe der solaren Wärmemengen, welche in gegebenen Zeiten beliebigen Breiten der Erde zugestrahlt werden. Meteor. Zeitschr., 1906, Heft 9.

c) Mathematische Grundlagen zu einer astronomischen Theorie der Klimaschwankungen. Gerlands Beitr. z. Geoph., Band XV—XVIII, 1926/27.

d) Die thermischen Anomalien auf der Erdoberfläche. Petermanns Geogr. Mitt., 1906, Heft 11.

3. M. Milankovitch, a) Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire. Paris 1920.

b) Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen. Band I, Teil A. des Handbuchs der Klimatologie von Köppen-Geiger, 1930.

4. R. Spitaler, a) Das Klima des Eiszeitalters. Prag 1921, Selbstverlag.

b) Über die Theorien der solaren Wärmeverteilung auf der Erde. Meteor. Zeitschrift, 1922, S. 52—54.

c) Über die solare Bestrahlung der Erde. Gerlands Beitr. z. Geoph., Band 31, S. 282—290 (1931).

d) Zur Chronologie des Eiszeitalters. Gerlands Beitr. z. Geoph., Band 35, S. 102 bis 112 (1932).

e) Die Wärme-Ein- und -Ausstrahlung auf der Erde. Gerlands Beitr. z. Geoph., Band 46, S. 180—189 (1935).

f) Die jährliche Veränderlichkeit der Wärme-Ein- und -Ausstrahlung oder des Kontinentalitätsgrades. Gerlands Beitr. z. Geoph., Band 46, S. 190—192 (1935).

g) Lufttemperatur und Kontinentalitätsgrad. Petermanns Geogr. Mitt., 1936, Heft 1 und 2.

h) Nachwinter und Nachsommer auf der Erde. Gerlands Beitr. z. Geoph., Band 35, S. 408—418 (1932).

i) Die diluviale Eiszeit im Äquatorialgebiete. Gerlands Beitr. z. Geoph., Band 38, S. 220—227 (1933).

j) Ein sechsjähriger Witterungszyklus. Meteor. Zeitschr., 1936, S. 254.

k) Sechsjähriger Zyklus und Sonnenfleckenperiode der Witterung. Meteor. Zeitschr., 1937, Heft 3.

l) Die Sonnenbestrahlung und die Temperaturverhältnisse während des Eiszeitalters. Gerlands Beitr. z. Geoph., Band 35, S. 395—407 (1932).

m) Die Wärmestrahlung der Milchstraße als mögliche Ursache der Eis- und Interglazialzeiten der Erde. Meteor. Zeitschr., 1911, S. 522—524.

5. A. Penck, Die Strahlungstheorie und die geologische Zeitrechnung. *Zeitschr. der Ges. für Erdkunde zu Berlin*, Jahrg. 1938, S. 321—350.
6. Lagrange, Théorie des variations séculaires des éléments des Planetes. *Nouveaux Mémoires de l'Académie royale de Sciences et belles lettres à Berlin*, Année 1781 et 1782.
7. Schubert, Über die Veränderung der Schiefe der Ekliptik und des Sonnensystems. *Berliner Astron. Jahrbuch für 1799*.
8. R. W. Farland, Perihelion and Eccentricity. *The American Journal of Sciences*. Third Series, Vol. XX, Art. XIV, 1880. New Haven, Conn.
9. C. L. Charlier, Contributions to the astronomical theory of an ice age. *Meddelande från Lunds Astronomiske Observatorium*. Serie II, Band I und *Die Mechanik des Himmels*, Band I., S. 398, Leipzig 1902.
10. J. N. Stockwell, Memoir on the secular variations of the elements of the orbits of the eight principal planets. *Smithsonian Contrib. to Knowledge*, Vol. XVIII. Washington 1873.
11. L. Pilgrim, Versuch einer rechnerischen Behandlung des Eiszeitproblems. *Jahrbuch des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg*, 60. Jahrg. (1904), S. 26—117.
12. F. Baur, Grundlagen einer Vierteljahrestemperaturvorhersage für Deutschland. Braunschweig 1926.
13. W. Meinardus, Über einige meteorologische Beziehungen zwischen dem Nordatlantischen Ozean und Europa im Winterhalbjahr. *Meteor. Zeitschr.*, 1898, S. 85—105.
14. W. B. Schostakowitsch, Warme und kalte Winter in Sibirien und ihre Abhängigkeit von dem Zustand des Golfstromes. *Meteor. Zeitschr.*, 1925, S. 1—10.
15. J. Lepsi, Die solare Klimakurve und die Geochronologisierung des süd-äthiopischen Jungquartärs. *Zeitschr. für Gletscherkunde*, Band XXVI, 1938, S. 112 bis 123.
16. W. Sörgel, Die Vereisungskurve. Referat in *Zeitschr. der Ges. für Erdkunde zu Berlin*, 1938, S. 225.
17. J. Hann. Referat. Dr. Hans Meyer über Schnee- und Gletschergrenzen, Vegetationszonen der Hochregionen und klimatische Verhältnisse der Anden von Ecuador. *Meteor. Zeitschr.*, 1907, S. 223—226.
18. R. Billwiller, Temperatur und Niederschlag im schweizerischen Alpengebiet während des letzten Gletschervorstoßes. *Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt* 1930. Nach W. Wundt in *Zeitschrift für Gletscherkunde*. Band XXII, Heft 1/5 1935, S. 61.