

SERBISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

MONOGRAPHIEN

BAND CCLXXX

MATHEMATISCHES INSTITUT

№ 3

Schriftleiter

R. KAŠANIN

Direktor des Mathematischen Instituts
der Serbischen Akademie der Wissenschaften

M. MILANKOVITČH

ASTRONOMISCHE THEORIE
DER KLIMASCHWANKUNGEN
IHR WERDEGANG UND WIDERHALL

BEOGRAD

1957

SERBISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

MONOGRAPHIEN

BAND CCLXXX

MATHEMATISCHES INSTITUT

№ 3

Schriftleiter

R. KAŠANIN

**Direktor des Mathematischen Instituts
der Serbischen Akademie der Wissenschaften**

M. MILANKOVITCH

**ASTRONOMISCHE THEORIE
DER KLIMASCHWANKUNGEN
IHR WERDEGANG UND WIDERHALL**

**Vorgelegt in der VI Sitzung, vom 24 V 1957, der mathematisch-naturwissen-
schaftlichen Klasse der Serbischen Akademie der Wissenschaften**

BEOGRAD

1957

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА

ПОСЕБНА ИЗДАЊА

КЊИГА ССLXXX

МАТЕМАТИЧКИ ИНСТИТУТ

КЊИГА 3

Уредник

академик Р. КАШАНИН

управник Математичког института Српске академије наука

М. МИЛАНКОВИЋ

АСТРОНОМСКА ТЕОРИЈА
КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА
ЊЕН ПОСТАНАК И ОДЈЕК

Приказано на VI скупу Одељења природно-математичких наука
од 24 V 1957 год.

Научно дело

ИЗДАВАЧКА УСТАНОВА САН

БЕОГРАД

1957

Графичко предузеће „Академија“ Београд, Космајска 28 — Телефон 24-701

ASTRONOMISCHE THEORIE DER KLIMASCHWANKUNGEN, IHR WERDEGANG UND WIDERHALL

von

M. Milankovitch

Zwischen den exakten und den beschreibenden Wissenschaften gähnt ein tiefer Abgrund, den nur wenige, weder von der einen noch von der anderen Seite, zu überschreiten vermögen. Dies rührt davon her, dass die exakten Wissenschaften aus der auf logischem und abstraktem Denken fussender Mathematik sich entwickelt haben, während die beschreibenden Wissenschaften aus der Beobachtung der reellen Welt ihre Erkenntnisse schöpfen. Anders gesprochen: die Schöpfer der exakten Wissenschaften sind Rationalisten, jene der beschreibenden dagegen Beobachter und Empiriker. Die Rationalisten denken am besten mit geschlossenen Augen, die Empiriker müssen sie weit geöffnet halten. Diese Erfahrung habe ich mit meiner astronomischen Theorie der Klimaschwankungen gemacht. Sie ist von manchen Vertretern der beschreibenden Wissenschaften und namentlich von den Geographen nicht verstanden, ja abgelehnt worden, trotzdem in ihr kein Fehlschluss entdeckt werden konnte. Dies hat mich bewogen, diese Theorie in leicht verständlicher Form zur Darstellung zu bringen. Dies wird am besten erreicht werden, wenn ich hier ihren Werdegang Schritt für Schritt verfolge.

Im Jahre 1909 erhielt ich in Wien, wo ich dreizehn glückliche Jahre verlebte, zum Doktor der technischen Wissenschaften promoviert wurde und mich darnach auch zum Wissenschaftler ausbildete, die Berufung der Philosophischen Fakultät der Universität in Belgrad an die Lehrkanzel für Angewandte Mathematik. Sie umfasste folgende Lehrgegenstände: Rationelle Mechanik, Theoretische Physik und Himmelsmechanik. Die wichtigsten Lehren dieser Wissenschaften sollten in einem sechs Semester dauernden Vortragszyklus den Hörern zum Verständnis und zur Kenntnis gebracht werden. Diese ersten drei Jahre meines Professorenberufes dienten auch mir zur Erweiterung und Vertiefung meiner eigenen Kenntnis. Dank den Mitteln, die der Staat meiner Lehrkanzel zur Verfügung gestellt hat, konnte ich sie mit der ganzen in Betracht kommenden wissenschaftlichen Literatur versorgen, so dass meine Vorlesungen dem damaligen Stand der Wissenschaft entsprachen.

Als mein dreijähriger Vortragszyklus zu Ende war und meine Hörer vor der Prüfungskommission erschienen, zeigte es sich, dass ich den Unterricht der mir betrauten Lehrgegenstände auf eine höhere Stufe gebracht habe. Dies war zugleich auch meine eigene Prüfung vor der Prüfungskommission und ich erwarb mir in unserem Professorenkollegium den Ruf eines tüchtigen Lehrers.

Aber meine Ambitionen gingen viel weiter. Ich wollte ein wirklicher Gelehrter werden und warf mich, wie ein feurig Verliebter, der Wissenschaft in die Arme. Aber da brach der erste Balkankrieg aus. Ich nahm als Reserveoffizier an demselben teil, aber nur bis zur Entscheidungsschlacht bei Monastir und dem darauf folgenden Waffenstillstand. Während aber die serbische Armee noch weiter unter den Waffen blieb, um noch einen Krieg, jenen mit Bulgarien, siegreich zu beenden, wurde mir die Erlaubnis erteilt, nach Belgrad zurückzukehren. Dort fand ich die Universität verödet, ohne Lehrer und Hörer. Ich bezog ein kleines, aber mit Büchern vollgestopftes Zimmerlein und arbeitete da von Morgen bis Abend, fast ein Jahr lang, ohne dass jemand an meine Tür angeklopft hätte.

In dieser scheinbaren Einsamkeit, aber durch die dort vorhandenen Bücher und die während der verflossenen Jahre erworbenen Kenntnisse in die weite Welt der Wissenschaften versetzt, dachte ich über folgendes nach.

Die rationelle und die Himmelsmechanik, die einen Bestandteil meines Vorlesungszyklus bildeten, waren in ihrem vollen Umfang wohl entwickelte exakte Wissenschaften; die Theoretische Physik war dagegen im mächtigen Aufschwung begriffen und durch unzählige Theoretiker und Entdecker vertreten. Ich musste nicht fragen, wo ich in dem grossen Verband dieser wohl ausgebauten oder im raschen Aufschwung begriffenen Wissenschaften einen unbesetzten und unbebauten Landstrich finden könnte, um ihn zu meinem Eigentum zu machen. Nach und nach überzeugte ich mich, dass dies nur in den Grenzgebieten zwischen diesen Einzelwissenschaften sein könnte. Und in ein solches Gebiet führten mich folgende Überlegungen.

Die Himmelsmechanik ist eine der grossartigsten unserer Wissenschaften, ist sie doch imstande die Bewegungen der Himmelskörper mit der grössten Genauigkeit in die graue Vorzeit und in die ferne Zukunft Schritt für Schritt zu verfolgen und vorherzusagen. Und diese stolze Wissenschaft ist einem einzigen Weltgesetz entsprungen, dem Newtonschen Gravitationsgesetz, nach dem die wechselseitigen Anziehungen je zweier Massen dem Produkt derselben direkt und dem Quadrat ihrer Entfernungen umgekehrt proportional sind.

Diesem ersten Grundgesetz des Weltalls reiht sich ein zweites, nicht weniger exaktes Grundgesetz an, jenes, das die Ausbreitung der Strahlung der Gestirne regelt, also auch die wärmespendende Kraft der Sonne. Auch diese nimmt, geradeso wie die anziehende Kraft der Sonne, mit dem Quadrat der Entfernung von der Sonne ab.

Die wärmespendende Strahlung der Sonne ergiesst sich ohne Unterlass in den weiten Weltraum und bespült, durch nichts behindert, die Erdatmosphäre, um erst beim Eintritt in dieselbe von ihr beeinflusst zu werden. Diese Beeinflussung soll später in Betracht gezogen werden, weshalb vor-

läufig nur von der an der oberen Grenze der Erdatmosphäre anlangenden Sonnenstrahlung die Rede sein soll. Die an dieser Grenzfläche pro Zeit- und Flächeneinheit anlangende Strahlungsmenge hängt, wie bereits gesagt, von der jeweiligen, aus der elliptischen Form der Erdbahn sich ergebenden Entfernung der Erde von der Sonne ab, aber, wie leicht zu beweisen, auch von dem Einfallswinkel, unter welchem die Sonnenstrahlen diese Grenzfläche erreichen. Dieser ganze Sachverhalt kann, mit Heranziehung der Lehren der Sphärischen Astronomie, erfasst werden durch eine mathematische Formel, der dieselbe Genauigkeit eigen ist wie jener, die das Newtonsche Gravitationsgesetz verkündet. Und das, was soeben über die Bestrahlung der Erde gesagt wurde, gilt im gleichen Masse für alle übrigen Planeten.

Der Bestrahlungszustand der Erde ist fortwährender Änderung unterworfen als Folge der Drehung der Erde um ihre Achse und ihres Umlaufes um die Sonne. Weil aber diese Bewegungen der Erde wohlbekannten Gesetzen gehorchen, können alle daraus sich ergebenden Einzelheiten der Erdbestrahlung mathematisch erfasst und exakt beschrieben werden. In den zu diesem Zwecke abgeleiteten mathematischen Formeln, die den an der oberen Grenze der Atmosphäre vor sich gehenden täglichen und jährlichen Gang der Bestrahlung an irgend welcher geographischen Breite veranschaulichen, kommen, neben dieser geographischen Breite, noch folgende astronomische Elemente vor: Die Exzentrizität der Erdbahn, der Abstand des Perihels vom jeweiligen Frühlingspunkt und die Neigung der Rotationsachse der Erde zur Ebene der Erdbahn. Wären diese Elemente unveränderlich, würde der Bestrahlungsgang an der oberen Grenze der Erdatmosphäre Jahr für Jahr in aller Ewigkeit derselbe bleiben.

Aber die Himmelsmechanik lehrt, dass die Bewegungen der einzelnen Planeten um die Sonne nicht in unveränderlichen Keplerschen Ellipsen vor sich gehen, weil durch die gegenseitigen Anziehungskräfte der Planeten ihre Bahnen langsamen Änderungen unterliegen. Daraus und auch aus der Präzessionsbewegung der Erdachse folgt, dass die soeben erwähnten astronomischen Elemente langsamen, kaum wahrnehmbaren, aber im Laufe der Jahrtausende sich fühlbar machenden säkularen Änderungen unterworfen sind. Daraus folgt weiter, dass auch die Bestrahlung der Erde solchen säkularen Änderungen unterliegt. Handelt es sich um die an der oberen Grenze der Erdatmosphäre anlangende Strahlung, so kann diese und auch alle ihre säkularen Änderungen mit absoluter Genauigkeit berechnet und Schritt für Schritt in ferne Zeiten verfolgt werden.

Zwischen der soeben erwähnten oberen Grenze der Atmosphäre und der Oberfläche der Erde liegt die Lufthülle der Erde ausgebreitet. Beim Eintritt der Sonnenstrahlen in die Erdatmosphäre erleidet die von diesen Strahlen mitgeführte Energie mannigfaltige Umwandlungen durch Refraktion, Diffusion und Absorption und erreicht, dadurch geschwächt, die Oberfläche der Erde, wo ein Teil derselben absorbiert, der andere zurückreflektiert wird, um auf seinem Rückweg von der Atmosphäre abermals beeinflusst zu werden. Die von der Atmosphäre und von der Oberfläche der Erde absorbierten Strahlungsmengen bestimmen den Temperaturzustand derselben und ihre damit verbundene Wärmeausstrahlung. Der Zusammen-

hang zwischen diesem Temperaturzustand und dieser Ausstrahlung ist durch ein mathematisch genau erfassbares Gesetz geregelt, das Joseph Stefan experimentell entdeckt und Ludwig Boltzmann theoretisch begründet hat. Auch alle übrigen in der Erdatmosphäre sich abspielenden Vorgänge unterliegen wohlbegründeten physikalischen Gesetzen, beispielsweise ihre mathematisch erfassbare Dichteabnahme mit der Höhe. Es erschien mir also möglich, die durch die Sonnenstrahlung hervorgerufenen thermischen Erscheinungen einer eingehenden mathematischen Untersuchung zu unterziehen.

Ein grosses kosmisches Problem erschien mir durch diese Überlegungen aufgespürt und aufgestellt. Ich musste mich vor allem fragen, ob es nicht von anderen schon erblickt und gelöst worden ist. Ich hatte damals alle Möglichkeiten, diese Frage zu beantworten. Sehr bald hatte ich alle Veröffentlichungen beisammen, die mit diesem Problem in Zusammenhang standen, jene von Halley, Lambert, Poisson, Wiener, Zenker, Angot, Schwarzschild, Emden und anderen. Sie behandelten nur einzelne Teile dieses Problems, aber nicht in ihrem Zusammenhange. Die Lehre von den thermischen Erscheinungen auf den Oberflächen der Planeten war kaum in ernste Untersuchung gelangt. Ich musste mich fragen, was die Ursache dieses Sachverhaltes sei. Nach vielen Überlegungen fand ich folgende Antwort.

Die Forscher, die sich mit den thermischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche, also mit dem Klima der Erde befassen, sind reine Erfahrungswissenschaftler. Sie haben keine Lust, sich mit komplizierten mathematischen Theorien zu befassen. Die meisten von ihnen wären auch nicht in der Lage, dies zu tun. Man könnte es von ihnen auch gar nicht verlangen, durch den Schornstein den Weg in ein Gebäude zu suchen, dessen Pforte weit geöffnet steht. Warum den weiten Weg über die Sonne zu unternehmen, um zu erfahren, was auf der Erde geschieht? Hat man nicht auf der Erde Tausende von meteorologischen Stationen errichtet, die uns über alle Temperaturerscheinungen zuverlässiger und genauer unterrichten als die vollkommenste Theorie!

Ein weiterer Grund, warum sich eine solche Theorie nicht früher entwickeln konnte war auch der, dass damals die Stärke der Sonnenstrahlung, die durch die sogenannte Solarkonstante zum Ausdruck gelangt, nicht zuverlässig ermittelt war. Die zu diesem Zwecke unternommenen Messungen haben sehr divergente Resultate ergeben. So blieb in der erwähnten mathematischen Formel, durch die der zweite Paragraph des Gesetzbuches des Weltalls zum Ausdruck gelangt, jener über die Ausbreitung und Stärke der Sonnenstrahlung, der numerische Wert des dort auftretenden Koeffizienten noch unbekannt.

Noch eine Ursache, warum es niemand ernstlich unternommen hatte, eine mathematische Theorie der durch die Sonnenstrahlung hervorgerufenen thermischen Erscheinungen aufzubauen, war wohl die, dass man bei einem derartigen Versuch sofort auf eine ganze Reihe komplizierter Probleme stösst, die verschiedenen Gebieten der exakten Wissenschaften angehören, die heutzutage scharf abgegrenzt sind.

Dies waren die Ursachen, warum jenes Problem lange Zeit ungelöst, ja unbemerkt blieb, abseits gelegen an der Dreiländergrenze der Sphärischen Astronomie, der Himmelsmechanik und der Theoretischen Physik. Die

Lehrkanzel, die ich bekleidete, umfasste alle diese wissenschaftlichen Disziplinen, die sonst an den anderen Universitäten voneinander getrennt sind. Diese Koinzidenz, die mir die Inangriffnahme des gestellten Problems ermöglichte, so zufällig sie auch erscheint, war doch kein Zufall. Gerade deshalb, weil ich mich mit diesen Disziplinen befasste, war es mir möglich, jenes Problem aufzuspüren und seine Tragweite zu ermessen.

Bald war mir folgendes klar geworden. Wenn es tatsächlich gelingen sollte, das gestellte Problem zu lösen und eine mathematische Theorie zu schaffen, mittels der man die Wirkungen der Sonnenstrahlung in Raum und Zeit verfolgen könnte, so wäre folgendes möglich. Derselbe Ofen, die Sonne, der die Erde mit Wärme versorgt, erwärmt auch jene Planeten, die mit festen Krusten bedeckt sind, und den Erdmond. Die Resultate dieser Theorie würden auch für diese Himmelskörper ihre Gültigkeit bewahren und uns die ersten zuverlässigen Angaben über die Temperaturverhältnisse dieser fernen Welten liefern, von denen wir damals nichts bestimmtes wussten. Doch nur damit wären die Leistungen einer derartigen Theorie nicht erschöpft, denn sie wäre in der Lage, uns Auskunft über das Klima der Vorzeit zu geben, wo die räumliche Verteilung der Sonnenstrahlung auf der Oberfläche der Erde und ihr zeitlicher Verlauf ein anderer war als gegenwärtig. Mit einem Worte, eine solche Theorie würde es ermöglichen, die Grenzen unserer direkten Wahrnehmungen räumlich und zeitlich weit zu überschreiten.

Dies wäre beiläufig die Tragweite der Lösung des aufgespürten Problems. Ich war mich dessen wohl bewusst, dass dessen Bewältigung jahrelange Arbeit erfordern wird. Ich habe sie, dreiunddreissigjährig, in den besten Jahren meines Lebens unternommen. Wäre ich damals etwas jünger gewesen, ich würde nicht über genügende Kenntnisse und Erfahrungen verfügt haben. Wäre ich älter gewesen, ich hätte nicht genügend Selbstvertrauen gehabt, das uns nur die Jugend, und sei es auch in Form des Leichtsinnes, zu verleihen vermag.

Anfangs ging alles gut. Wichtige Vorfragen über die Bestrahlung der Erde und ihre Beeinflussung durch die Erdatmosphäre waren gelöst. Ich veröffentlichte darüber zwei Abhandlungen in den Berichten der Serbischen bzw. der Jugoslawischen Akademie der Wissenschaften und zwei andere in den „Annalen der Physik“. Im Jahre 1913 verbrachte ich einige Wochen in Wien, wo ich im Kreise der dortigen Universitätsprofessoren angenehme Stunden verlebte. Alle übrige Zeit verbrachte ich in den Bibliotheken Wiens und erfuhr aus den dort soeben eingelaufenen Zeitschriften, dass es den amerikanischen Astrophysikern nach zehnjährigem Bemühen gelungen war, die Intensität der Sonnenstrahlen genau auszumessen, also den numerischen Wert der Solarkonstante zuverlässig zu ermitteln. Damit war ein Hindernis meiner in Angriff genommenen Arbeit aus dem Wege geschafft.

Aber da brach der erste Weltkrieg aus und überraschte mich auf der Hochzeitreise mit meiner jungen Gemahlin auf dem Gebiete der österreichisch-ungarischen Monarchie. So wurde ich, da ich inzwischen die serbische Staatsbürgerschaft erworben habe, Kriegsgefangener der kaiserlich-königlichen Armee und in das Kriegsgefangenenlager in Nezsider eingeliefert.

Der Weihnachtsabend des ersten Kriegsjahres brachte mir ein schönes Christgeschenk, ein Telegramm des österreichisch-ungarischen Kriegsministeriums, mich aus dem Gefangenenlager zu entlassen. Dies hatte ich meinem lieben, damaligen Professor der Technischen Hochschule in Wien Emanuel Czuber zu verdanken. Ich war einst sein Schüler und erfreute mich schon damals seiner Zuneigung. Als er also durch meine Frau erfuhr, wo ich mich befinde, unternahm er Schritte für meine Freilassung. So wurde mir die Erlaubnis erteilt, als Konfinierter in Budapest auf eigene Kosten ziemlich frei zu leben unter milder und nur formaler polizeilicher Aufsicht. Weil ich den von meinem Vater ererbten Grundbesitz in Slawonien verkaufen konnte, war ich in die angenehme Lage versetzt, in Budapest sorglos zu leben, mich ganz der wissenschaftlichen Tätigkeit zu widmen und dadurch mein väterliches Erbe in ein wissenschaftliches Kapital umzutauschen, wie ich es jetzt erzählen will.

In Budapest häuslich geworden, klopfte ich an der Tür der Ungarischen Akademie der Wissenschaften. Der greise Direktor der Bibliothek, Koloman von Szilly, empfing mich dort mit ausgebreiteten Armen. Im Lesezimmer der Bibliothek, das mir auch ausserhalb der üblichen Besuchsstunden offen blieb, konnte ich drei Jahre ungestört arbeiten, ohne Hast, jeden Schritt wohl überlegend und dabei 144 verschiedene Veröffentlichungen meines Forschungsgebietes zu Rate ziehen.

Das von mir in Angriff genommene Problem gliederte sich, genau besehen, in zwei Teilprobleme. Das eine, das ich als das astronomische Problem bezeichnen möchte, umfasst die Ermittlung der Bestrahlung der oberen Grenze der Erdatmosphäre und jener der Planeten. Es kann, wie bereits gesagt, exakt erfasst werden, weil es sich dabei nur um die Heranziehung zweier bereits erwähnten absolut exakten Naturgesetze handelt. Das zweite Problem umfasst die Beeinflussung der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre und die Ermittlung des dadurch geschaffenen Temperaturzustandes der Atmosphäre und der Planetoberfläche. Diesen Teil des Problems möchte ich als das physikalische Teilproblem bezeichnen, weil dabei die Gesetze der Physik herangezogen werden müssen. Dabei müssen, zwecks einer mathematischen Behandlung dieses Problems, gewisse vereinfachende Voraussetzungen gemacht werden. Die wichtigste derselben ist die Voraussetzung einer ruhenden Atmosphäre. Hat man diese Voraussetzung gemacht, so folgt aus ihr die mathematisch erfassbare Gesetzmässigkeit der Dichteabnahme der Atmosphäre mit der Höhe und ihr durch die einfallende Strahlung der Sonne und der Wärmeausstrahlung der Erdoberfläche zugehörige Temperaturzustand der einzelnen Höhenschichten der Atmosphäre und jener der Erdoberfläche. Das auf diese Weise errechnete Klima wird in der Wissenschaft als das solare Klima bezeichnet. Die dabei gemachten Voraussetzungen ermöglichten mir, aus den einzelnen Breiten der Erde jährlich zugestrahlten Wärmemengen die zugehörige mittlere jährliche Temperatur an jeder dieser Breiten zu berechnen. Als ich diese Berechnungen zu Ende führte, ergab es sich, dass die berechneten Temperaturen an den niederen Breiten etwas höher, und an den hohen Breiten etwas niedriger als die beobachteten sind. Dies war auch zu erwarten. Die Luft- und Meeresströmungen mildern diese geographischen Gegensätze, sind aber,

weil sie Zirkulationen im Potentialfelde der Schwerkraft sind, nicht imstande, den mittleren jährlichen Temperaturzustand der ganzen Erdoberfläche zu ändern. Tatsächlich ergab es sich, dass die aus den rechnermässig gewonnenen Temperaturen der einzelnen geographischen Breiten ermittelte mittlere, auf die ganze Erdoberfläche sich beziehende Temperatur der untersten Luftschicht nur um ein Zehntel Grad Celsius von der tatsächlich beobachteten sich unterschied. Dies war ein Beweis für die Richtigkeit der aus den gemachten Voraussetzungen sich ergebenden Berechnungen.

Diese mathematischen Berechnungen des gegenwärtigen solaren Klimas der Erde gaben mir die Möglichkeit die Frage zu beantworten, wie sich die Hauptzüge dieses theoretischen Klimas und des damit eng verbundenen tatsächlichen Klimas im Laufe der Zeiten geändert haben als Folge der säkularen Änderungen der astronomischen Elemente, von denen hier bereits die Rede gewesen ist. Über diese Änderungen geben uns die Lehren der Himmelsmechanik Auskunft. Ich zeigte in meinem Buche, wie diese Lehren zu benützen wären und gab den rechnerischen Nachweis, dass die säkularen Änderungen der Erdbestahlung von solchem Ausmasse gewesen waren, dass sie das Klima der Erde entscheidend beeinflusst haben mussten. Bei dieser Gelegenheit kam ich auf die bereits früher unternommenen Versuche, die untrüglich festgestellten Spuren der Vereisungen während der Vorzeit, die sogenannten Eiszeiten, durch astronomische Ursachen zu erklären. Mehrere Forscher haben sich mit diesen astronomischen Theorien der Eiszeiten befasst, so namentlich Adhémar, Croll, Ball, Hargreaves, Culverwell, Ekholm, Spitaler und andere. Ich bewies die Unzulänglichkeit oder Fehlerhaftigkeit dieser Theorien und gab Anweisungen wie dieses paläoklimale Problem in Angriff zu nehmen wäre, ohne mich in die praktische Anwendung der gewonnenen theoretische Ergebnisse einzulassen, da ich kein praktischer Klimatologe bin.

Meine im Aufbau begriffene Theorie wendete ich auch auf andere Mitglieder unseres Planetensystems an. Für den Erdmond konnte sie ohne irgend welche vereinfachende Voraussetzung Anwendung finden. Der Mond besitzt eine feste Oberfläche und hat keine Atmosphäre. Der Gang seiner Bestahlung durch die Sonne ist uns genau bekannt. Zur Ermittlung der durch diese Bestahlung hervorgerufenen Temperatur seiner Oberfläche kommt nur das Stefansche Ausstrahlungsgesetz und die Fouriersche Theorie der Wärmeleitung in Betracht, und dasselbe gilt auch für den Planeten Merkur.

Aber das interessanteste Objekt meiner diesbezüglichen Untersuchungen war der Planet Mars, zugleich auch das aktuellste. Denn damals erregte die Frage über die Bewohnbarkeit dieses Himmelskörpers im höchsten Masse das Interesse der gelehrten und noch mehr die Neugierde der ungelehrten Welt. Berufsastronomen und Amateure richteten ihre Fernrohre auf diesen Himmelskörper und erblickten dort Meere, Buchten, Kontinente, Inseln, fruchtbare Gefilde, Wüsten und Oasen. Sie sahen deutlich, wie sich im Frühjahre jene Gefilde mit saftigem Grün bekleiden und der französische Popularisator der astronomischen Wissenschaft Camille Flammarion hat mit eigenen Augen das Purpurrot des herbstlichen Laubes beobachtet. Der Amerikaner Lowell sah bläuliches Wasser an den

Rändern der schneeigen Polarkalotten während der Schneeschmelze abfliessen. Als der italienische Astronom Schiaparelli die sogenannten Marskanäle, ein vielverzweigtes, sinnreich ausgeführtes Netz geradliniger Wasserstrassen entdeckte, war kein Zweifel mehr möglich, dass unser Nachbarplanet von intelligenten Wesen bewohnt ist.

Es gab wohl Leute, ernste Gelehrte, die die Ansichten der Marsenthusiasten nicht teilten. Selbst Schiaparelli gab die Möglichkeit zu, die Marskanäle seien ein optisches Phänomen. Andere namhafte Gelehrte, der Schwede Arrhenius, der Engländer Poynting und der Amerikaner Campbell, wiesen darauf hin, dass die Temperatur der Marsoberfläche bedeutend niedriger sein muss als jene der Erdoberfläche, schon wegen der grösseren Entfernung des Mars von der Sonne. Aber dieses schwerwiegende Argument hat die Ansichten Flammarions, Lowels und aller übrigen Marsenthusiasten nicht im mindesten erschüttern können. Im Gegenteil, erst jetzt war es dieser Gemeinde klar geworden, wie hoch die Intelligenz und die technischen Mittel der Marsbewohner sein müssen, um unter schwierigeren klimatischen Verhältnissen als wir leben zu können. Flammarion und Lowell versuchten, um allen Einwänden zu begegnen, das offensichtliche Defizit der Bestrahlung des Mars durch die Sonne, gegenüber der Bestrahlung der Erde irgendwie wettzumachen. Sie stellten Hypothesen auf, die Marsatmosphäre fange die Sonnenstrahlung ein, wie wenn sie ein Glashaus, d. h. eine Mausefalle für die Sonnenstrahlen wäre. Der Marskörper schrumpfe unaufhaltsam zusammen und erwärme sich dadurch prachtvoll.

In diesem heissen Stadium der Frage über die Bewohnbarkeit des Mars führte ich meine Untersuchungen über seine Temperaturverhältnisse durch. Es ergab sich, dass er ein prachtvolles Objekt für derartige Untersuchungen ist. Seine Atmosphäre ist dünn, durchsichtig und wolkenlos. Seine Oberfläche ist wie geglättet, seine Kontinente eingeebnet, die Meere seicht. Seine Bahnelemente, seine Rotationsdauer und die Zeit seines Umlaufes um die Sonne sind uns genau bekannt, ebenso die Neigung seiner Rotationsachse zu seiner Bahnebene. So hatte ich alle Angaben in der Hand, seine Bestrahlung durch die Sonne und ihren zeitlichen Ablauf mit aller Genauigkeit zu berechnen. Es blieb nur übrig, den durch diese Bestrahlung hervorgerufenen Temperaturzustand seiner untersten Luftschicht auf den verschiedenen Breiten des Planeten zu ermitteln. Die zu diesem Zwecke dienenden Formeln hatte ich in der Hand. In diesen kommen, neben den einzelnen Breiten im Laufe des Marsjahres zugestrahltten Wärmemengen, noch zwei Grössen vor, die die Eigenschaften der Marsatmosphäre kennzeichnen. Es ist dies der Transmissionskoeffizient der Atmosphäre für die einfallende Sonnenstrahlung und der Transmissionskoeffizient für die dunkle Ausstrahlung der Marsoberfläche. Die bereits erwähnte Durchsichtigkeit der Marsatmosphäre bezeugt, dass der zuerst angeführte Transmissionskoeffizient ein hoher und nicht viel verschieden von der Einheit ist. Über den numerischen Wert des zweiten Koeffizienten hatte ich vorerst keine verlässlichen Angaben. Ich glaubte also, meine Berechnungen nicht zu Ende führen zu können, fand aber bald den richtigen Ausweg.

Die auffallendste Erscheinung auf der Marsoberfläche sind seine schneeweissen Polarkalotten. Schon vor zwei Jahrhunderten hat man sie

entdeckt, seither immer wieder beobachtet und bemerkt, dass sie im Laufe der Jahreszeiten des Mars ihre Grösse ändern. Wenn eine der beiden Marshemisphären in ihr Sommerhalbjahr eintritt, so schrumpft ihre weisse Kopfbedeckung bis auf den hundertsten Teil ihrer früheren Grösse. An den Rändern dieser Kalotte, dort wo der Schnee gerade abgeschmolzen ist, herrscht gewiss eine Temperatur nahe dem Gefrierpunkt. Und diese wertvolle Angabe ermöglichte mir, aus meiner Formel für die Temperatur der untersten Luftschicht, in welcher neben der dieser Breite zugestrahlten Sonnenwärme noch die erwähnten beiden Transmissionskoeffizienten vorkommen auch jenen unbekanntem Transmissionskoeffizient zu ermitteln. Dann konnte ich daran gehen, die mittleren jährlichen Temperaturen an den einzelnen Breiten der Marsoberfläche zu berechnen. Meine Berechnungen lieferten folgende Ergebnisse.

Die mittlere Jahrestemperatur der untersten Luftschicht am Marsäquator beträgt -3° , am dreissigsten Breitengrad -12° , am sechzigsten -38° und an den Marspolen -52° . Die mittlere jährliche Temperatur an der ganzen Marsoberfläche beträgt -17° . Sie ist um mehr als 30° tiefer als die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche. Dieses Ergebnis — so schrieb mir Arrhenius — hat alle Phantasien über die Bewohnbarkeit des Mars gründlich zerstört. Dies schliesst die Möglichkeit nicht aus, dass namentlich in der Umgebung der Marspole, dort wo das Sommerhalbjahr der nördlichen Hemisphäre 581 unserer Tage dauert, eine Vegetation gedeiht, die das 306 Tage umfassende Winterhalbjahr zu überdauern vermag.

Um nicht auf die soeben behandelte Frage zurückkommen zu müssen, bemerke ich, dass bald nach dem Erscheinen meines Buches die von den amerikanischen Astrophysikern durchgeführten Messungen der von der Mars- und von der Mondoberfläche zu uns gelangenden Strahlungsmengen die Ergebnisse meiner Berechnungen bestätigt haben. Sie fanden ihre Wiedergabe und ihre Würdigung in einem ausführlichen Bericht, den Schönberg im Jahre 1925 in der „Physikalischen Zeitschrift“ veröffentlicht hat. Siehe darüber auch das unlängst erschienene Buch: Gérard de Vaucouleurs, *Physique de la planète Mars*. Paris 1951.

Im Jahre 1917 war das Manuskript meines Werkes, das den Namen erhielt: „Mathematische Grundlagen der kosmischen Strahlungslehre“ fertiggestellt. Ich schickte es nach Wien meinem lieben Professor Czuber. Er las meine Schrift aufmerksam durch, schrieb dann ein ausführliches Gutachten und schickte es dem Buchverlag B. G. Teubner in Leipzig. Bald nachher erhielt ich von meinem Professor die Verständigung, der Buchverlag sei bereit, mein Werk zu veröffentlichen.

Zur Veröffentlichung meines in deutscher Sprache verfassten Werkes kam es aber damals nicht. Der Krieg war noch nicht beendet und ihm folgten, auch in Deutschland, schwere Nachkriegszeiten. Von dieser Sachlage Kenntnis tragend, entschloss sich die Jugoslawische Akademie der Wissenschaften, das Werk als ihre Veröffentlichung durch den Verlag Gauthier-Villars in Paris in französischer Übersetzung der Öffentlichkeit zu übergeben. Das Werk erschien im Jahre 1920 unter dem Titel „Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire.“

Mein Buch fand beifällige Besprechung auch in deutschen Zeitschriften und machte Bekanntschaft mit einer Reihe von Gelehrten. Es kam auch

in die Hände des damaligen Vorstandes der Deutschen Seewarte in Hamburg und deren Drachenstation in Gröss-Borstel, Wladimir Köppen, des grossen Meteorologen und Klimatologen. Er stammte aus einer deutschen nach Russland eingewanderten Gelehrtenfamilie, da auch sein Vater und Bruder hervorragende russische Gelehrte gewesen waren. Dreissigjährig, kehrte er in seine Urheimat zurück und entfaltete dort als Schriftleiter der „Meteorologischen Zeitschrift“ und der „Annalen der Hydrographie und der maritimen Meteorologie“ und als Verfasser seiner Hauptwerke „Klimakunde“ und „Die Klimate der Erde“ eine ungemein fruchtbare wissenschaftliche Tätigkeit. Zur Zeit als er mein Buch in die Hände bekam, arbeitete er mit seinem Schwiegersohne Alfred Wegener an ihrem gemeinsamen Werke „Die Klimate der geologischen Vorzeit“.

Der Leitgedanke ihrer diesbezüglichen Untersuchungen war die Wegenersche Theorie der Verschiebung der Kontinente, von der hier später die Rede sein wird. Als sie mein Buch in die Hände bekamen, waren sie gerade bis zum letzten Kapitel ihres Werkes gelangt, das die Überschrift trug „Die Klimate des Quartärs“. Nur von diesem Abschnitt der Erdgeschichte soll hier ausführlicher die Rede sein. In diesem Abschnitt berichtet Köppen folgendes.

Nachdem Europa und Nordamerika seit der Algonkisch-kambrischen Vereisung während langer Zeiträume tropisches bis subtropisches Klima gehabt hatten, begann für sie gegen Ende der Tertiärzeit ein neues Zeitalter, zuerst in Nordamerika, dann auch in Europa, das seinen Höhepunkt im Quartär erreichte. In den Gebirgen senkte sich die Schneegrenze wiederholt um etwa 1200 Meter, und in den einzelnen Eiszeiten wurden weite Teile beider Festländer unter einem kilometermächtigen Inlandeis begraben, während in den Interglazialzeiten das Eis ganz oder teilweise wegschmolz und eine Flora ähnlich der heutigen in das freigegebene Land einzog.

A. Penck und E. Brückner haben die Spuren dieser quartären Vereisung der Alpen eingehend untersucht und ihr umfangreiches Beobachtungsmaterial in dem dreibändigen Werk „Die Alpen im Eiszeitalter“ niedergelegt. Hauptsächlich auf Grund der Schotterterrassen der Flüsse kommen sie zu dem Ergebnis, dass die Vereisung viermalig war, mit drei dazwischenliegenden Interglazialzeiten. Sie bezeichneten diese vier Eiszeiten als Günz-, Mindel-, Riss- und Würmeiszeit. Von den Interglazialzeiten muss diejenige zwischen Mindel- und der Riss-Eiszeit weitaus die längste gewesen sein.

Über die absolute Zeitdauer sind ihnen nur rohe Schätzungen möglich gewesen. Im Schlussband des erwähnten grossen Werkes von Penck und Brückner gibt uns Penck das Ergebnis dieser Schätzungen in Gestalt der nachstehenden Figur:

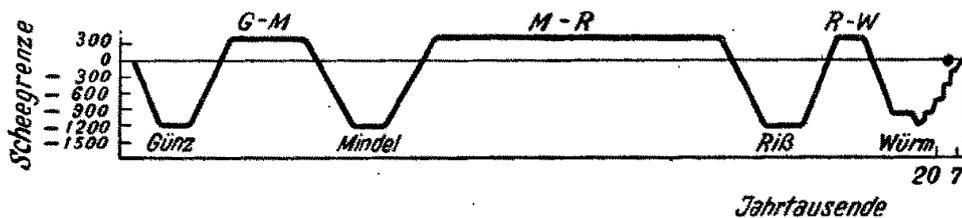


Fig. 1.

Aus dem Masstabe zu dieser Figur folgt, dass die seit dem Beginn der Günz-Eiszeit verfllossene Zeit etwa 660 000 Jahre gedauert hat.

Als Köppen meine „Théorie mathématique“ gründlich durchstudiert hätte und auch über die darin behandelten Fragen Erkundigungen bei mir eingeholt hat, war er überzeugt, dass in ihr der Schlüssel zur Lösung des Eiszeitenproblems liegen müsse. Und er lud mich zur Mitarbeit ein.

Ich übernahm es, den säkularen Gang der Bestrahlung der geographischen Breiten von 50, 55 und 60 Grad nördlich, dort wo die vorzeitlichen Klimaänderungen ihre deutlichsten Spuren hinterlassen haben, für das Zeitintervall der letztverflossenen 650 Jahrtausende zu berechnen und graphisch zu veranschaulichen. Köppen riet mir, dabei mein Augenmerk auf die säkularen Änderungen der sommerlichen Bestrahlung zu richten, denn diese Änderungen mussten das Bild des vorzeitlichen Klimas stark beeinflusst haben. Eine Verminderung der sommerlichen Bestrahlungsmenge musste eine entsprechende Verschiebung der Schneegrenze nach unten und einen Vorstoss der Gletscher in die Täler der Gebirge zu unausweichlicher Folge gehabt haben, und diese Erscheinung war der ausschlaggebende Effekt der vorzeitlichen Klimaänderungen, der deutliche Spuren am Antlitz der Erde hinterlassen hat.

Als ich es unternahm, diesem Ratschlage zu folgen, drängten sich mir folgende Gedanken auf. Das wichtigste Kennzeichen des jährlichen Bestrahlungs- und Temperaturganges an den aussertropischen Breiten der Erde ist der Gegensatz zwischen dem Sommer- und dem Winterhalbjahr. Das astronomische Sommer- und Winterhalbjahr, beide mit den Tag- und Nachtgleichen beginnend, teilen das Jahr nach dem Kriterium der Länge der Tage, aber nicht nach dem Kriterium der Stärke der Bestrahlung, die nicht nur von der Länge des Tages, sondern auch von der jeweiligen Entfernung der Erde von der Sonne abhängig ist. Die Elliptizität der Erdbahn hat überdies zu Folge, dass die astronomischen Halbjahre nicht von gleicher Länge sind. Sie weisen gegenwärtig einen Unterschied auf, der 7 Tage und 14 Stunden beträgt. Dieser Unterschied kann infolge Variabilität der astronomischen Elemente den Betrag von 31 Tagen und 20 Stunden erreichen. Deshalb können die während dieser astronomischen Halbjahre im Verlaufe der Vorzeit zugestrahlten Wärmemengen nicht gut untereinander verglichen werden, weil sie sich auf verschiedene Dauer dieser Halbjahre beziehen. Diese Unzulänglichkeit kann beseitigt werden, wenn man das Jahr in zwei gleich lange Intervalle zergliedert, von denen das eine alle jene Tage des Jahres umfasst, während welcher die Bestrahlung der in Betracht gezogenen geographischen Breite stärker ist als an irgend einem Tage des anderen Halbjahres. Diese beiden Zeitintervalle habe ich als die kalorigen Halbjahre bezeichnet. Die Länge dieser Halbjahre unterliegt keinen säkularen Änderungen, weshalb die denselben zugehörigen Strahlungsmengen, auf denselben Nenner gebracht, untereinander direkt vergleichbar sind.

Es ist ein exakt formuliertes mathematisches Problem, wie die diesen Halbjahren zugehörigen, den einzelnen Breiten der Erdoberfläche von der Sonne zugestrahlten Wärmemengen berechnet werden können. Als ich dieses Problem gelöst hatte, ging ich an die numerische Berechnung und die

graphische Darstellung des säkularen Ganges der Erdbestrahlung. Der ausgezeichnete und tüchtige Forscher Pilgrim hat mir, ohne es zu wissen und zu erleben, die Wege geebnet. Er hat im Jahre 1903 und mit Benützung der Stockwellschen Formeln die Änderungen ausgerechnet, welche die erwähnten drei astronomischen Elemente während der letzten Million von Jahren erfahren haben. Auf diese verdienstvolle Arbeit mich stützend, ermittelte ich mit dem von mir geschaffenen mathematischen Apparat alle Änderungen, die die sommerliche Bestrahlung der in Betracht gezogenen geographischen Breiten während der verflossenen 640 Jahrtausende erlitten hat. Es blieb noch die Frage übrig, auf welche Weise und mit welchen Einheiten gemessen, ich diese säkularen Änderungen der Bestrahlung zur Darstellung bringen soll. Im Einverständnis mit Köppen entschloss ich mich, diese Änderungen durch fiktive Breitenänderungen zu veranschaulichen. Hat sich also zu einem beliebigen Zeitpunkte der Vorzeit die sommerliche Bestrahlung der in Betracht gezogenen Breite gegenüber ihrer jetzigen Grösse um einen gewissen Betrag verändert, so suchte ich jene geographische Breite auf, der gegenwärtig dieselbe sommerliche Bestrahlung zukommt wie der in Betracht gezogenen Breite während jenes Zeitpunktes der Vorzeit. War sie damals grösser als gegenwärtig, so entsprach dies einer fiktiven Breitenänderung gegen den Äquator zu, war sie dagegen kleiner, einer fiktiven Breitenänderung gegen den Pol. Es ergab sich, dass diese säkularen Änderungen der Erdbestrahlung einen oszillatorischen Charakter hatten: es alternierten nacheinander Zunahme und Abnahme. Ich ermittelte nur die aufeinander folgenden Ausschläge dieser Änderungen, d. h. alle Maxima und alle Minima, die die sommerliche Bestrahlung der in Betracht gezogenen geographischen Breiten während der verflossenen 650 Jahrtausende erreicht hat und stellte das Ergebnis meiner Berechnungen graphisch dar. Das Graphikon, das ich Köppen übermittelte ist in der beiliegenden Figur 2, oberes Diagramm, wiedergegeben, aber nicht bis 650 Jahrtausende, sondern nur bis 600 Jahrtausende reichend, weil über dessen Verlängerung in die fernere Vorzeit noch die Rede sein wird. Ausserdem sind in ihm nur die säkularen Veränderungen der sommerlichen Bestrahlung des 65-ten Breitengrades nördlich wiedergegeben, weil in den nachstehenden Abbildungen auch die Bestrahlung weiterer Breitengrade veranschaulicht werden wird. Dabei sind die säkularen Änderungen der Bestrahlung der in Betracht gezogenen nördlichen Breite dargestellt mit abwärts wachsenden Breiten, um die Bestrahlung und die zugehörige Sommertemperatur aufwärts wachsen zu lassen.

Die dieser Veranschaulichung dienende Linie hat, weil sie nur Ausschläge der Bestrahlungsschwankung darstellt, ein zackenförmiges Aussehen, aus dem deutlich ersehen werden kann, dass die sommerliche Strahlungsmenge, die der in Betracht gezogenen geographischen Breite während der Vorzeit zugestrahlt worden war, in langsam verlaufender Änderung sich befand und ihr zeitlicher Ablauf einen oszillatorischen Charakter aufwies. Die fiktive Breitenschwankung, die dieser Bestrahlungsänderung entsprach, führte während des in Betracht gezogenen Intervalles der Vorzeit zwanzig Ausschläge nach Norden und nach Süden aus. Diese extremen Werte, namentlich die Minima der sommerlichen Bestrahlungsmenge,

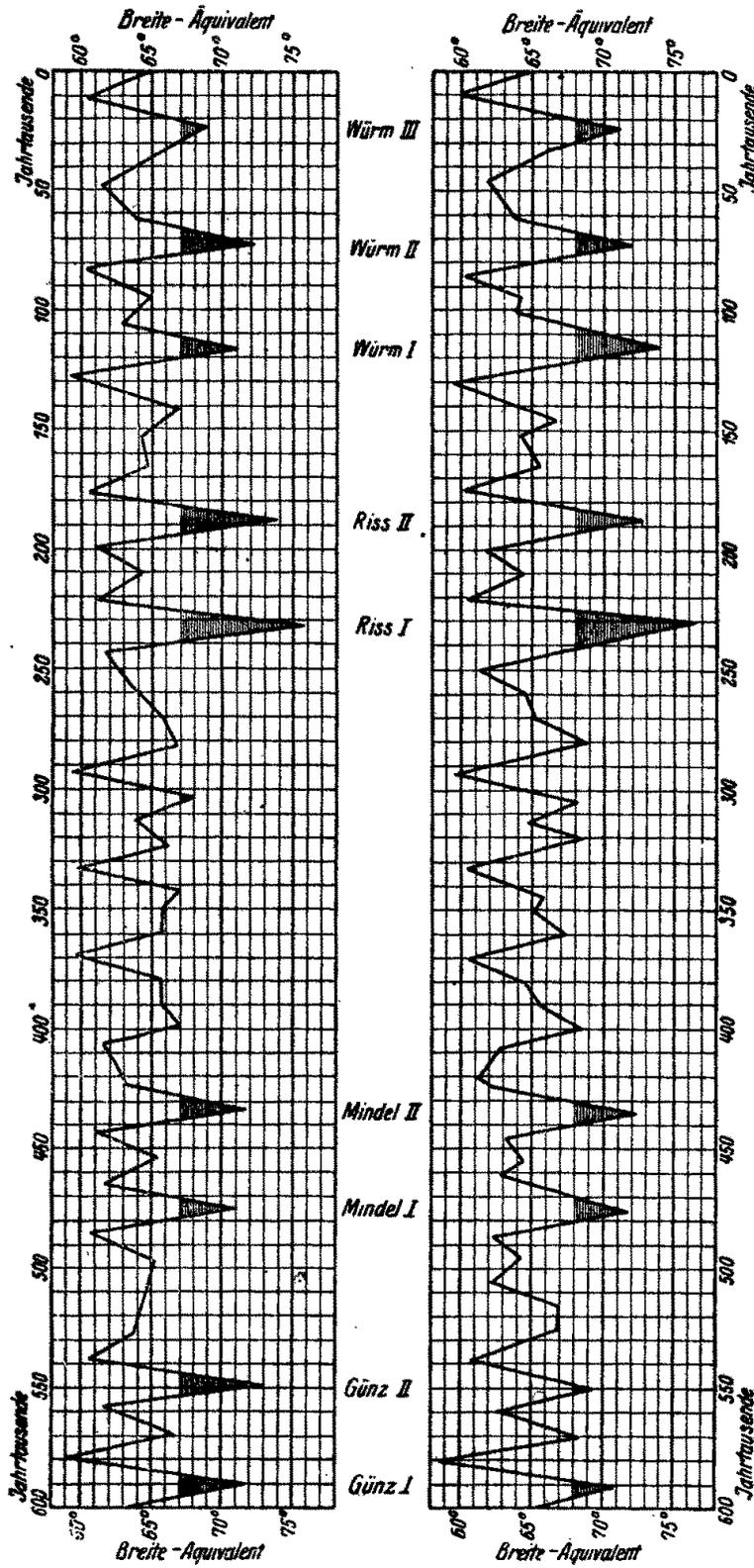


Fig. 2 und 3
 Zackige Strahlungskurven für 65 Grad nördlich
 Oben: berechnet mittels den Stockwellschen Formeln
 Unten: berechnet mittels den Leverrierschen Formeln

waren nicht von gleicher Grösse. Dabei überragten neun Minima die elf übrigen durch ihr auffallendes Ausmass. Sie verzeichneten also neun gewaltige Einbrüche der Zeiten ausserordentlich kalter Sommerhalbjahre. Sie waren über das in Betracht gezogene Intervall der geologischen Vorzeit nicht gleichmässig verteilt, vereinigten sich vielmehr zu vier, durch sehr lange Zeitintervalle getrennte Gruppen, wobei die ersten sechs Minima zu drei Paaren, und die letzten drei zu einem Dreizack vereinigt erschienen.

In diesen vier Gruppen erkannte Köppen die untrüglichen Belege der vier europäischen Eiszeiten, jener von Günz, Mindel, Riss und Würm. Tatsächlich ergab es sich, wenn man aus dem Strahlungsdiagramm, die Reihenfolge und den zeitlichen Ablauf jeder dieser Gruppen ermittelte, das in der beiliegenden Figur 4 dargestellte Bild, das mit dem von Penck und in der Figur 1 dargestellten Diagramm ausgezeichnet übereinstimme.

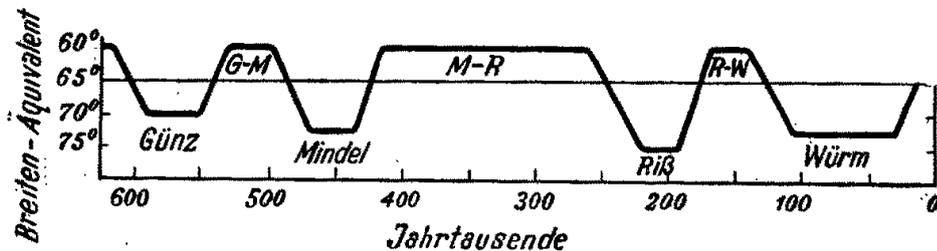


Fig. 4

Es blieb nur die Frage offen, ob auch alle durch das Strahlungsdiagramm in diesen einzelnen Gruppen dargestellten Schwankungen ihre Spuren am Antlitz der Erde hinterlassen haben. Und diese Frage fand sehr bald ihre Beantwortung.

Einer der ersten, der sich mit dieser Frage eingehend befasste, war Wolfgang Soergel. Geboren in Weimar, dem Olympos der deutschen Dichter, wo auch Goethe lebte und starb, hat ihm seine Geburtsstadt die ersten Anhaltspunkte für sein Unternehmen geliefert.

In seinem Heimatlande und in den Gegenden Deutschlands, die der mächtigen Schneedecke einst vorgelagert waren, entdeckte Soergel zahlreiche Spuren klimatischer Schwankungen, die dort stattgefunden haben. Sein erster Schritt war, die Bedeutung dieser Belege klarzulegen. Diesem Zweck hat er drei seiner Veröffentlichungen gewidmet, jene über die Bedeutung der Löss, der paläolithischen Kulturen und über Erosion, Ablagerungen und Bettverlegungen der Flüsse. Alle diese Zeugen klimatischer Änderungen sprachen in dem Sinne, dass in der erforschten Gegend die Anzahl solcher Änderungen eine grössere war, als dies das Pencksche Schema mit seinen vier Eiszeiten voraussetzt. Soergel unternahm es, auf Grund seiner Untersuchungen eine Vollgliederung des Eiszeitalters durchzuführen.

Die ersten Anhaltspunkte für die Lösung des gestellten Problems fand Soergel in den Terrassen des Flusses Ilm, die sein Geburtsort durchfließt und in den Terrassen der Saale, in die die Ilm einmündet. Er bewies, dass alle diese Terrassen ihre Entstehung klimatischen Änderungen verdanken: die Schotterablagerungen dieser Flüsse sind während kalter

Zeiten entstanden, und ihre Einschnitte und Terrassen zu Zeiten milden Klimas. Als er ihre Verteilung und ihre Höhenlage ermittelte, fand er, dass sich hier 11 Perioden kalter Sommer und 11 Perioden warmer Sommer abgelöst haben. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen veröffentlichte er im Jahre 1924 in seiner Monographie „Die diluvialen Terrassen der Ilm und ihre Bedeutung für die Gliederung des Eiszeitalters“.

Diese Abhandlung Soergels erschien zwei Monate vor der Veröffentlichung des Werkes von Köppen und Wegener „Die Klimate der geologischen Vorzeit“, in dem erstmalig meine Strahlungskurven ihre Veröffentlichung fanden. Seine Abhandlung verfassend, hat Soergel von diesen Kurven keine Kenntnis gehabt und war deshalb hoch überrascht, als er eine in alle Einzelheiten reichende vollkommene Übereinstimmung dieser Kurven mit den Ergebnissen seiner Untersuchungen schon auf den ersten Blick feststellen konnte. Diese Übereinstimmung ist aus der beiliegenden Figur 5 deutlich ersichtlich.

In dieser Abbildung ist meine aus dem Köppen—Wegenerschen Werke entnommene für den 65 Grad nördlich berechnete Strahlungskurve wiedergegeben. In derselben sind durch Schraffierung die neun gewaltigen Kälteeinbrüche deutlich gemacht, von denen, nach Deutung Köppens, die zwei ersten das Günz-Zeitalter, die zwei nachfolgenden das Mindel-Eiszeitalter, die folgenden zwei das Riss-Eiszeitalter und die restlichen drei das Würm-Eiszeitalter veranschaulichen. Alle diese Kälteeinbrüche haben deutliche Spuren in den Terrassen der Ilm hinterlassen. Überdies gaben diese Terrassen noch Kunde von zwei schwächeren, aus der Strahlungskurve deutlich sichtbaren Kälteeinbrüchen, die Soergel mit Prä-Riss und Prä-Würm bezeichnete. Auf diese

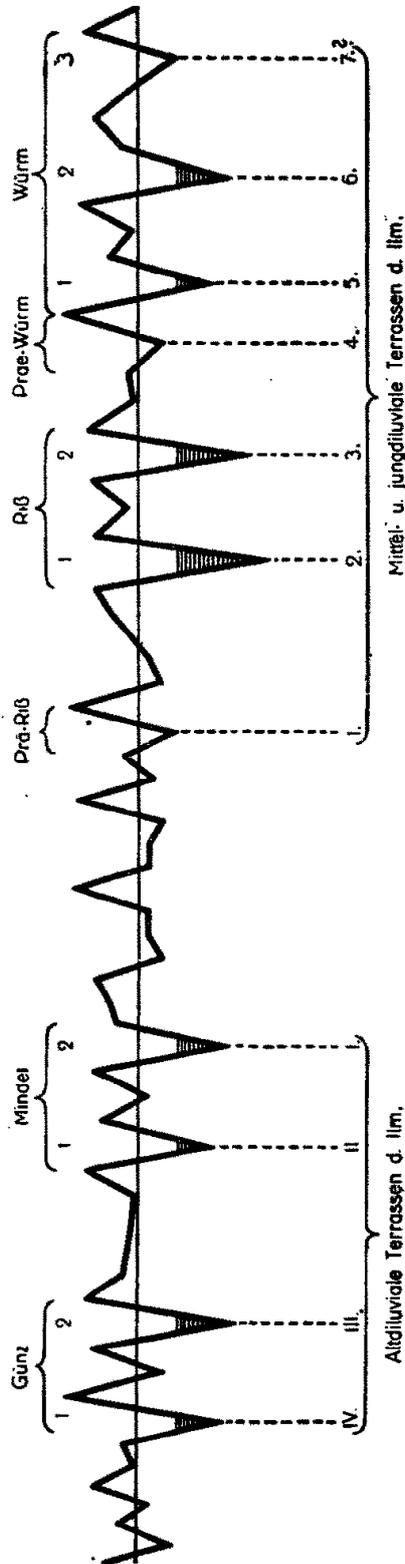


Fig. 5

Weise hat Soergel bewiesen, dass die Ilm mit ihren Terrassen alle namhafteren Ausschläge meiner Strahlungskurve auf dem Terrain verzeichnet hat.

Soergel blieb bei diesem Ergebnis nicht stehen, sondern erweiterte seine Untersuchungen auch auf das Flussgebiet der Weser. Es ist im gelungen eine, in alle Einzelheiten gehende vollständige Korrelation der Terrassen der Flüsse Ilm und Saale mit den Terrassen der Werra und der Weser nachzuweisen und seine Vollgliederung des Eiszeitalters auf Grund der Befunde zweier verschiedener Flusssysteme auszubauen. Als einen weiteren Beweis für die Richtigkeit seiner Untersuchungen fügte er hinzu ein in seine Einzelheiten zergliedertes Profil der diluvialen Schichten in Ehringsdorf bei Weimar, in dem er alle Ausschläge der Strahlungskurve wiedergegeben fand. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen fasst Soergel wie folgt zusammen. Die Übereinstimmung der auf geologischen Untersuchungen fussenden Ergebnisse über das Klima der Vorzeit mit denen, die auf astronomischer Berechnung gewonnen worden sind, ist eine ganz ausserordentliche. Selten haben zwei Lösungsversuche für das gleiche Problem, die ganz unabhängig und auf ganz verschiedener Grundlage unternommen worden sind, zu derartig übereinstimmenden Resultaten geführt. Darin liegt eine sehr hohe Gewähr für die Richtigkeit der in beiden Systemen vertretenen Einzelgliederung. Ich halte damit die astronomische Gliederung des Eiszeitalters für bewiesen, das Problem der absoluten Zeitrechnung des Eiszeitalters für gelöst.

Zu gleicher Zeit da Soergel seine Forschungen durchführte, unternahm ein anderer Geolog ähnliche in einem anderen Gebiete Deutschlands. Es war dies der hochbegabte junge Gelehrte Barthel Eberl. Sein Forschungsgebiet war der Teil der schwäbisch-bayerischen Hochebene zwischen dem Lech und der Iller und zwischen dem Alpenrand und der Donau. In dieser Gegend haben zwei einstige Gletscher, benannt nach Lech und Iller, deutliche Spuren ihrer einstigen Ausbreitung mit allen ihren Phasen während der Vorzeit hinterlassen bis zum Ausklang der letzten Eiszeit. In unermüdlicher Arbeit, und in diesem Gebiet lebend, hat Eberl alle Spuren dieser Gletscher, ihre Moränen, Flussablagerungen und ihre Terrassen festgestellt und kartographisch dargestellt im Masstab 1 : 250.000. Aus dieser kartographischen Darstellung konnte man ersehen, wie weit diese Gletscher im Laufe der Vorzeit während ihrer einzelnen Vorstösse vorgedrungen sind und sich dann wieder zurückgezogen haben. Mit ihren Stirnmoränen haben sie ihre jeweilige Ausbreitung auf dem Terrain eingezeichnet und durch Höhenlage ihrer Terrassen und der Täler, durch die sie vorgedrungen waren, die zeitliche Reihenfolge dieser Vorstösse. Eberl unternahm es, die zeitliche Reihenfolge dieser Vorstösse und ihr Ausmass graphisch darzustellen, indem er auf der zeitlichen Skala, die er zur Abszissenachse wählte, die zeitlichen, von ihm abgeschätzten Abstände der einzelnen Vorstösse und Rückzüge der Gletscher hintereinander übertrug, und als Ordinate das zugehörige Ausmass dieser Vorstösse und Rückzüge, wie er sie auf dem Terrain ermittelt hat. Dadurch erhielt er eine zackenförmige Linie. Über das Ergebnis dieser seiner Beobachtungsergebnisse erstattete er am 29 Januar 1924 einen Bericht in der Geologischen Vereinigung in München.

Ein Jahr vorher, den 12 Januar 1923, befand sich Köppen im Besitze meines Strahlungsdiagrammes, das er seinem und Wegenerschem Werke „Die Klimate der geologischen Vorzeit“ einverleibte und dieses Werk im Oktober 1924 der Öffentlichkeit übergab. Als bald nachher Eberl dieses Diagramm zu Gesicht bekam, erkannte er mit begreiflichem Erstaunen die wunderbare Übereinstimmung desselben mit seinen eigenen Forschungen. Alle Ausschläge meiner Strahlungskurven haben, wie dies seine Untersuchungen auf dem Terrain ergaben, dort tiefe Spuren hinterlassen. Und zwar nicht nur ihrer Reihenfolge, sondern auch ihrem Ausmasse nach.

Aber im Diagramm von Eberl befand sich noch etwas, was in meinem Diagramm nicht enthalten war. Dieses Diagramm erstreckte sich, wie bereits hier erzählt, über das Zeitintervall der letztverflossenen 650 Jahrtausende und reichte bis zum fünfzigsten Jahrtausend vor der ersten Phase der Günz-Eiszeit. Aber das Eberlsche Diagramm reichte noch weiter in die Vergangenheit zurück und bekundete, dass vor der Günz-Eiszeit noch einige älteren Einbrüche der Kälte ihre Spuren am Antlitz der Erde hinterlassen hatten. Einer von diesen Einbrüchen hat drei nahe, hohe, also sehr alte Horizonte hinterlassen, wie dies deren Struktur bezeugt. Ein weiterer, noch älterer Einbruch der Kälte hat seine Spuren hoch oben auf dem Staufenberg hinterlassen. Und noch vor diesem hat ein älterer Vorstoss der Eisdecke in das nördliche Alpenvorland seine Spuren hinterlassen.

Um auch über diese, vor der Günz-Eiszeit stattgefundenen Kälteinbrüche Auskunft zu erhalten, wandte sich Eberl an Köppen. Dieser machte mir in seinem Briefe vom 14 Dezember 1926 den Vorschlag, meine Strahlungskurven bis zur vollen Million von Jahren in die Vorzeit rechnermässig zu verlängern. Selbstverständlich habe ich mich beeilt, diesem Wunsche zu entsprechen und die säkularen Schwankungen der sommerlichen Bestrahlung der geographischen Breiten von 55° , 60° und 65° graphisch zu veranschaulichen. Eberl übernahm mein Graphikon in sein neu verfasstes Werk, das alle Ergebnisse seiner Untersuchungen zusammenfasste. Es ist dies ein schön ausgestattetes Buch „Die Eiszeitenfolge im nördlichen Alpenvorlande. Ihr Ablauf und ihre Chronologie auf Grund der Aufnahmen im Bereich des Lech- und Illergletschers. Augsburg 1930“.

In seinem Buche veröffentlichte Eberl als das Endresultat seiner Untersuchungen zwei übereinander gestellten Diagramme, die folgende Überschriften tragen:

„Sonnenstrahlung des Sommerhalbjahres in höheren Breiten im Quartär seit 1000.000 Jahren von M. Milankovitch.“

„Diagramm einer stratigraphischen Gliederung der diluvialen Ablagerungen auf der Lech-Illerplatte von B. Eberl“.

In der beiliegenden Figur 6 sieht man die beiden Diagramme wiedergegeben.

Wie aus diesen beiden Diagrammen ersichtlich, ist ihre Übereinstimmung eine geradezu wunderbare, besonders wenn man berücksichtigt, dass sie auf ganz verschiedene Weise entstanden sind, durch Eberls Untersuchungen auf dem Terrain und durch meine auf Grund der Lehren der Himmelsmechanik berechneten säkularen Änderungen der Bestrahlung der Erde durch die Sonne.

Die vorstehend mitgeteilten Untersuchungen der Geologen haben unzweideutig bewiesen, dass der säkulare Gang der Erdbestrahlung seine

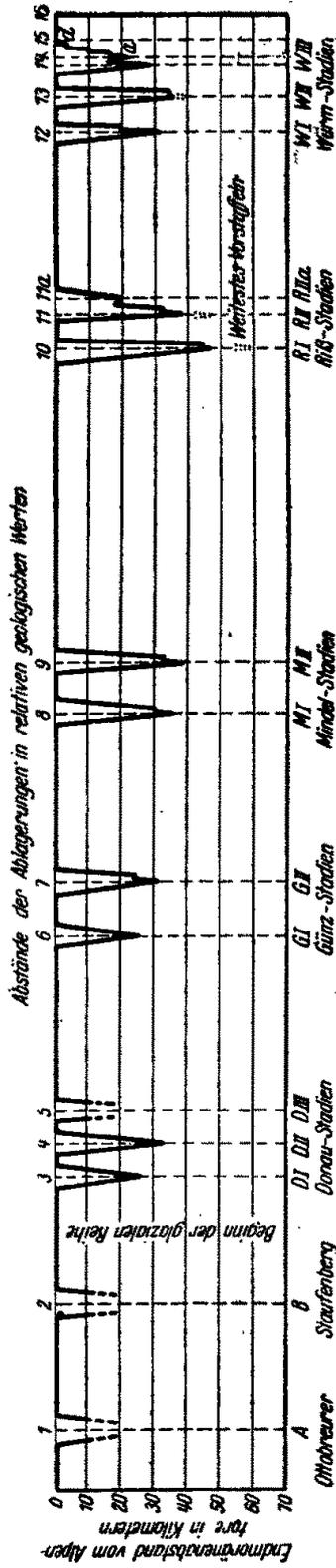


Fig. 6

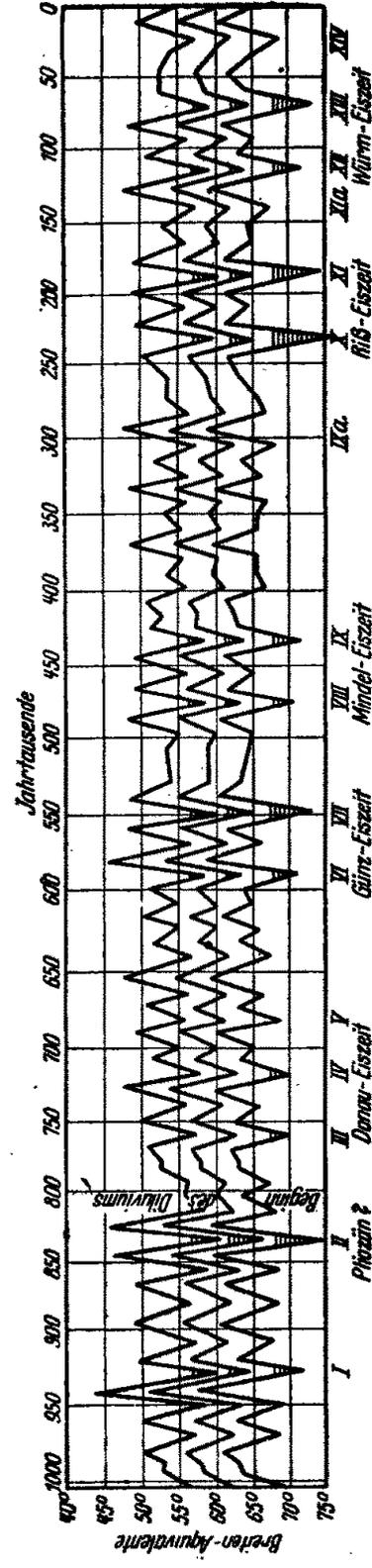


Fig. 6a

Spuren am Antlitz der Erde hinterlassen hat, und mit der Errechnung dieses Ganges konnten die Zeiten der Ablagerung dieser Spuren astronomisch berechnet und genau datiert werden. Auf diese Weise haben die klimatischen Schwankungen des Eiszeitalters und ihre Folgen ihren astronomischen Kalender erhalten. Es ist nicht lange her, dass eine solche Möglichkeit ganz und gar bezweifelt worden ist. Hat doch ein hervorragender Kenner der Erdgeschichte J. Walther noch im Jahre 1908 sagen müssen: „Wir müssen, wenn auch schweren Herzens, die Hoffnung aufgeben, die geologischen Ereignisse nach Jahren, Jahrtausenden und Jahrmillionen ordnen zu können“.

Aber die Wissenschaft hat sich mit einer solchen Resignation nicht begnügen können, sondern Mittel gefunden, das Alter der Erdablagerungen festzustellen und einen astronomischen Kalender zu schaffen. Meine Untersuchungen über den vorzeitlichen Gang der Bestrahlung der Erde haben die Grundlagen der Chronologie der Vorzeit geschaffen, ausgehend von der Bewegung der Himmelskörper. Auch unser bürgerlicher Kalender ist, seinem Wesen nach, nichts anderes als eine Zuordnung unserer Erlebnisse und der Weltereignisse an die Himmelserscheinungen. In seinen Elementen, dem Tag und dem Jahr, spiegeln sich die astronomischen Erscheinungen, die Drehbewegung der Erde und ihre Umkreisung um die Sonne getreulich wider. Geradeso verhält es sich mit dem durch die Strahlungskurven geschaffenen Kalender der Eiszeit. In ihm widerspiegeln sich die Himmelserscheinungen höherer Kategorie: die periodische Schwankung der Ekliptikschiefe, die oszillierenden Änderungen der Exzentrizität der Erdbahn und der Umlauf des Perihels. Die Ungleichheit dieser periodischen Erscheinungen und deren Ungleichmässigkeit, die aber streng erfassbaren Gesetzen gehorchen, sind es die diese äusserst komplizierten, aber Schritt für Schritt verfolgbareren Schwankungen der Erdbestrahlung verursachen.

Nach den soeben geschilderten ersten Erfolgen meiner Strahlungskurven empfand ich das Bedürfnis, meine astronomische Chronologie des Eiszeitalters in allen ihren Einzelheiten auszuarbeiten und ihre Genauigkeit zu überprüfen. Und sehr bald ergab sich eine Gelegenheit für die Verwirklichung dieses Vorhabens.

Ende Juni 1927 erhielt ich von Köppen ein Schreiben, in dem er mir mitteilte, dass er auf Einlandung des Verlags Gebrüder Borntraeger in Berlin und unter Beihilfe des Münchner Meteorologen R. Geiger im Begriffe sei, an die Herausgabe eines „Handbuches der Klimatologie“ zu schreiten. Diese Enzyklopädie wird fünf grosse Bände umfassen und sich der Mitarbeit von etwa dreissig hervorragender Gelehrten aus Deutschland, Österreich, England, Russland, Dänemark, Norwegen, Niederland, Vereinigten Staaten von Amerika, Kanada, Brasilien, Süd-Afrika, Vorderindien, Japan und Neuseeland erfreuen.

Die Idee zu einem solchen enzyklopädistischen Werk hat mich nicht überrascht. Seit langem empfand man das Bedürfnis nach einem solchen Werk, das die ganze Erdkugel umfassen sollte, und die deutschen Verlagsfirmen, an erster Stelle jene in Berlin, haben deutlich erkannt, dass eine solche Veröffentlichung ein dankbares und lohnendes Unternehmen sein wird. Es hat mich auch nicht gewundert, dass man bei der Ausgabe

eines solchen Werkes in erster Linie an Köppen gedacht hat. Aber es hat mich gewundert, dass Köppen in seinem einundachtzigsten Lebensjahr sich entschlossen hat, die Bürde einer solchen schweren und verantwortungsvollen Arbeit auf seine Schultern zu laden. Ich sagte ihm dies anlässlich einer Zusammenkunft in Graz, wohin er aus Hamburg übersiedelt war, nachdem sein Schwiegersohn Alfred Wegener Professor an der Universität in Graz geworden ist. Und Köppen gab mir die folgende Antwort: „Es ist allerdings wenig wahrscheinlich, dass ich die übernommene Arbeit zu Ende führen werde. Deshalb habe ich mir den jungen Geiger zum Mitarbeiter gewählt, der mehr Aussicht hat, das Ende dieser Arbeit zu erleben. Aber, sehen Sie, ich stehe im freundschaftlichen Verkehr mit fast allen Klimatologen der Gegenwart. Auch mit jenen von Sowjet-Russland, von denen mir ihrer drei ihre Mitarbeit zugesagt haben.“

Dies waren die Gründe, die Köppen bestimmt haben, die verantwortungsvolle Stelle des Redaktors des „Handbuches der Klimatologie“ zu übernehmen. Und er hat die vollständige Veröffentlichung seines Handbuches nicht nur erlebt, sondern persönlich auch die Ausarbeitung jener Abschnitte desselben übernommen, die er russischen Gelehrten zugewiesen hat, die aber, auf höheren Befehl, diese Mitarbeit absagen mussten.

Und nun muss ich wieder auf den erwähnten Brief von Köppen zurückkehren. In demselben teilte er mir noch folgendes mit. Er denkt, dass die naturgemäße Einleitung zu seiner Enzyklopädie der Klimatologie die von mir ausgearbeitete Theorie des solaren Klimas wäre, wie ich sie in meinem französisch geschriebenen Werke „Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire“ niedergelegt hatte. Er erinnerte mich daran, dass dieses Werk, ursprünglich in deutscher Sprache verfasst, den Deutschen zugedacht war, und jetzt bietet sich die Gelegenheit, diese Absicht zu verwirklichen. Er hofft, dass ich seiner Aufforderung gerne entsprechen werde. Die Einzelheiten meiner Mitarbeit könnten am besten mündlich festgelegt werden.

Die Gelegenheit zu einer solchen Aussprache ergab sich bald. Damals pflegte ich mit meiner Familie jeden Sommerurlaub in Küb am Semmering zu verbringen und dorthin begab sich auch Köppen mit seiner Gemahlin. So konnten wir den Inhalt und Umfang meines Beitrages zu seinem Handbuch in allen Einzelheiten vereinbaren. Im November 1927 unterschrieb ich einen diesbezüglichen Vertrag mit dem Verlag Gebrüder Borntraeger in Berlin.

Zu gleicher Zeit erhielt ich noch eine Einladung zur Mitarbeit an einem ähnlichen Unternehmen. Der genannte Buchverlag hat mit seiner Ankündigung des „Handbuches der Klimatologie“ einen starken Widerhall in den wissenschaftlichen Kreisen gefunden. Wissenschaftliche Institute und Observatorien, die sich mit der Erforschung der klimatischen Erscheinungen befassten, meldeten sich als Abonnenten des zu erscheinenden Werkes. Dies bestimmte den Verlag, auch die Ausgabe eines „Handbuches der Geophysik“ zu bewerkstelligen und sich diesbezüglich an Beno Gutenberg, Professor der Universität in Darmstadt, zu wenden. Er war ein bekannter Geophysiker, der mit seinem „Lehrbuch der Geophysik“ sich einen Namen geschaffen hat. Und so erhielt ich von Gutenberg ein

Schreiben, in dem er mir folgendens mitteilte. Der rasche Aufschwung der Geophysik, die sich zu einer selbständigen Wissenschaft entwickelt hat, hat das Bedürfnis geschaffen, dieselbe in ihrem ganzen Umfange und besonders mit ihren neuesten Errungenschaften durch ein grosses enzyklopädisches Werk darzustellen. Im Einverständnis mit dem Buchverlag Gebrüder Borntraeger hat er es übernommen, in Mitarbeit von vierzig erstklassigen Gelehrten, an die Ausgabe eines „Handbuches der Geophysik“ zu schreiten, das zehn grosse Bände umfassen soll. Er ladet mich zur Mitarbeit ein.

Ich musste ihm antworten, dass ich eine solche, mich sehr ehrende Mitarbeit nicht übernehmen könne wegen meiner schon vertraglich vereinbarten Mitarbeit an dem Köppenschen „Handbuch der Klimatologie“. Aber Gutenberg wollte meine Gründe nicht gelten lassen. Er schrieb mir, dass ihm meine erwähnte Mitarbeit bekannt ist, aber er wird die Reihenfolge der einzelnen Beiträge zu seinem Handbuch und die Termine ihrer Veröffentlichung derart einrichten, damit mir die für meine Mitarbeit erforderliche Zeitspanne sichergestellt werde.

Daraufhin folgte ein ausgiebiger Briefwechsel zwischen Gutenberg und mir, in dem ich ihm gewisse Vorschläge machte über die Einteilung des zu bearbeitenden Materials in seinem Handbuche. Der eine dieser Vorschläge ging darauf hin, im ersten Band des Handbuches die Stellung und Bewegung der Erde im Weltraum als einen Himmelskörper und als Mitglied unseres Planetensystems darzustellen, wodurch der notwendige Zusammenhang zwischen den Lehren der Geophysik und jener der Astronomie erzielt wird, deren Gesetzen auch die Erde unterworfen ist und die nicht nur die auf der Erde gegenwärtig beobachteten Erscheinungen regelt, sondern auch jene, die sich auch während der Vorzeit auf der Erde abgespielt hatten. Alle dieser Erscheinungen können nur mit Hilfe der Himmelsmechanik auf eine feste Grundlage gestellt werden. Deshalb ist es notwendig, dass die wichtigsten dieser Lehren in seinem Handbuch zur Behandlung gelangen.

Gutenberg nahm alle meine Vorschläge bereitwillig an, und wir vereinbarten folgendes. Für den ersten Band seines Handbuches werde ich drei besondere Abschnitte liefern: „Stellung und Bewegung der Erde im Weltall“, „Drehbewegungen der Erde“ und „Säkulare Polverlagerungen“, zusammen rund 200 seiten Oktavformat. Im neunten Bande des Handbuches, der erst nach einigen Jahren an die Reihe kommen wird, werde ich alles mitteilen, was mit den säkularen Änderungen des Erdklimas im Zusammenhange steht und namentlich Bezug nehmen auf die Wegenersche Theorie der Verschiebung der Kontinente, die damals sehr aktuell geworden ist.

Volle zehn Jahre, von Ende 1927 bis Ende 1937, dauerte meine Mitarbeit an dem Köppenschen bzw. dem Gutenbergschen Handbuch. Ich begann sie mit der Verfassung des Einleitungsabschnittes für das Köppensche Handbuch, der den Titel führte „Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen“. Er unterschied sich von meinem französisch geschriebenen Werke „Théorie mathématique des phénomènes thermiques produites par la radiation solaire“ vor allem da-

durch, dass nur die Erde allein der Gegenstand meiner Untersuchungen war und meine Untersuchungen über die Temperaturen der übrigen Mitglieder unseres Planetensystems ausser Acht blieben. Die übrigen Teile meines Buches erfuhren aber eine weitgehende Bearbeitung und Erweiterung. Die wichtigsten derselben waren die folgenden.

In meinem Erstlingswerke habe ich bei der Erforschung der Beeinflussung der Erdbestahlung und des Zusammenhanges derselben und dem Temperaturzustandes der Atmosphäre und der Erdoberfläche nur einen stationären Bestrahlungszustand in Betracht gezogen, der mir aus ihrer mittleren jährlichen Bestahlung die Errechnung der mittleren jährlichen Temperaturen der verschiedenen geographischen Breiten der Erdoberfläche ermöglichte. Diesmal zog ich aber auch den periodischen, täglichen und jährlichen Bestrahlungszustand der einzelnen Breiten in Betracht und es gelang mir, dank dem mächtigen Werkzeug der höheren Mathematik und der Theoretischen Physik, den dadurch hervorgerufenen periodischen Temperaturzustand nicht nur der einzelnen Höhengichten der Atmosphäre, sondern auch den Temperaturzustand der Erdoberfläche mathematisch zu erfassen, wobei auch die Wärmeleitung des Erdbodens mit seiner Aufspeicherung bzw. Rückgabe der Wärme in Betracht gezogen werden konnte. Diese mathematische sehr komplizierten, aber auf anerkannten physikalischen Gesetzen beruhenden Untersuchungen ergaben, dass sich im jährlichen Bestrahlungsgange die Temperaturextreme gegenüber den Extremen der Bestahlung infolge der Aufspeicherung der Wärme im Erdboden und in der Atmosphäre um 26 Tage verspäten.

Ähnliche Untersuchungen habe ich auch für den täglichen, durch die Nacht unterbrochenen Bestrahlungsgang durchführen können.

Der letzte Abschnitt meines für das Köppensche „Handbuch der Klimatologie“ bestimmten Beitrages trug den Titel „Die astronomische Theorie der Klimaschwankungen“. Er ist weit über meine vorhergehenden Veröffentlichungen hinausgewachsen. Nach den ersten Erfolgen meiner Strahlungskurven stellte ich mir zur Aufgabe, diese Kurven mit der noch erreichbaren Genauigkeit rechnerisch zu ermitteln und graphisch zu veranschaulichen.

Die Ausrechnung der säkularen Veränderungen jener drei astronomischen Elemente, deren Veränderlichkeit die klimatischen Schwankungen der Vorzeit zur Folge gehabt hat, ist eines der schwierigsten Probleme der Himmelsmechanik. Die erste Grundlage für ihre Berechnung hat Lagrange geschaffen, Laplace weiter ausgebildet und Leverrier an die schwierige Aufgabe geschritten, diese Änderungen numerisch zu berechnen. Die Ergebnisse seiner diesbezüglichen Arbeit hat er im Jahre 1843 veröffentlicht, und drei Jahre nachher gelang es ihm, den achten grossen Planeten Neptun rechnerisch zu entdecken. Den Einfluss der Masse dieses Planeten auf seine vorher durchgeführten Berechnungen konnte er also nur nachträglich und meritorisch in Betracht ziehen mit dem Hinweis, dass er seine früheren Berechnungen hinsichtlich der säkularen Änderungen der Erdbahnelemente nur unwesentlich beeinflussen könne. Diese, wenn auch unbedeutende Unzulänglichkeit der Leverrierschen Berechnungen veranlasste den Amerikaner Stockwell an eine Neuberechnung der säkularen

Änderungen der astronomischen Elemente zu schreiten. Nach zehnjähriger Arbeit veröffentlichte er im Jahre 1873 die Ergebnisse seiner Berechnungen. Seit jener Zeit ist eine neuere Durchführung solcher Berechnungen nicht unternommen worden.

In seiner Arbeit hat Stockwell die mathematischen Formeln entwickelt, mittels denen die säkularen Änderungen der astronomischen Elemente berechnet und in Zukunft und Vergangenheit verfolgt werden können. Diese Formeln benützte er, um die auf die Erde sich beziehenden säkularen Änderungen für das Zeitintervall der letztverflossenen 8000 Jahre zu berechnen. Dasselbe ist zu kurz, um für das paläoklimale Problem Anwendung zu finden. Dies hat Pilgrim bewogen, um mit Benützung der Stockwellschen Formeln die auf die Erde sich beziehenden säkularen Änderungen der astronomischen Elemente für das Zeitintervall der letztverflossenen 1,010.000 Jahre zu berechnen. Die Ergebnisse seiner Berechnungen hat Pilgrim im Jahre 1904 in einer Abhandlung veröffentlicht, ohne in derselben zu annehmbaren Resultaten hinsichtlich der vorzeitlichen Klimaschwankungen zu gelangen. Aber seine Berechnungen hinsichtlich der säkularen Änderungen der astronomischen Elemente sind gewissenhaft durchgeführt und so konnte ich sie, wie bereits erwähnt, benützen bei der Berechnung meiner auf die geographische Breiten von 55, 60 und 65 Grad nördlich sich beziehenden Strahlungskurven, die ihre Veröffentlichung im Köppen-Wegenerschen Werke fanden.

Mit meinem neuen in Angriff genommenen Werke wollte ich meine Berechnungen des säkularen Ganges der Erdbestrahlung auf eine grössere Anzahl der geographischen Breiten und auch auf jene der südlichen Hemisphäre erstrecken. Ich stand vor der Frage, ob ich mich dabei der Stockwellschen oder der Leverrierschen Formeln für die Berechnung der drei in Betracht kommenden astronomischen Elemente bedienen soll. Ich besprach diese wichtige Frage mit meinem Kollegen W. Mischkovitch, Professor der Astronomie an unserer Fakultät und Direktor des astronomischen Observatoriums in Belgrad. Wir kamen dabei zu folgendem Entschluss. Die Formeln, die Leverrier für die Berechnung der säkularen Änderungen der in Betracht zu ziehenden astronomischen Elemente abgeleitet hat, stehen, ihrer Zuverlässigkeit nach, hoch über jenen von Stockwell, in denen man einzelne Fehler entdeckt hat. Ein weiterer Grund sprach für die Benützung der Leverrierschen Arbeit. Die Leverrierschen und die Stockwellschen Berechnungen sind ganz unabhängig voneinander durchgeführt worden und weisen verschiedene Initialbedingungen auf, nachdem die ersteren als Initialmoment den Beginn des Jahres 1800, die letzteren jenen des Jahres 1850 ansetzen. Es wird also der Vergleich der Endergebnisse meiner zwei verschiedenen Berechnungen des säkularen Ganges der Erdbestrahlung eine willkommene Kontrolle für deren Verlässlichkeit liefern.

Professor Mischkovitch übernahm es, mit seinem tüchtigen Hilfspersonal und unter Zugrundelegung der gegenwärtig als die genauest betrachteten Massen der Planeten und mit Anwendung der Leverrierschen Formeln, die säkularen Änderungen der drei in Betracht zu ziehenden astronomischen Elemente für das Zeitintervall der letztverflossenen 600 Jahrtausende zu berechnen und tabellarisch darzustellen.

Auf diese wertvolle Arbeit mich stützend, berechnete ich die säkularen Änderungen der Bestrahlung der geographischen Breiten von 25, 35, 45, 55, 65 und 75 Grad nördlich und südlich.

In der auf Seite 13 wiedergegebenen Figur 3, unteres Diagramm, sind die säkularen Schwankungen der sommerlichen Bestrahlung der geographischen Breite von 65 Grad nördlich für das Zeitintervall der letztverflossenen 600 Jahrtausende zur Dastellung gebracht, wobei nur die Ausschläge dieser Schwankungen berechnet worden sind und deshalb diese Schwankungen durch Zackenlinien veranschaulicht erscheinen.

Auf den Figuren 2 und 3 sieht man zwei Diagramme. Das obere ist jenes, das ich, wie bereits berichtet, für das Köppen-Wegenersche Werk und mit Benützung der von Pilgrim mittels den Stockwellschen Formeln berechneten säkularen Änderungen der astronomischen Elemente ermittelte, das untere dagegen jenes, das ich mit Benützung der von Mischkovitch mittels der Leverrierschen Formeln berechneten säkularen Änderungen der astronomischen Elemente ermittelte. Diese beiden Diagramme stimmen so weitgehend überein, dass kein Zweifel an die Realität des von mir berechneten vorzeitlichen Bestrahlungsganges der Erde möglich ist. Zwischen denselben besteht nur ein geringer, aber beachtenswerter Unterschied. Im unteren Diagramm ist die mit Würm III bezeichnete Zacke deutlicher ausgebildet als in dem oberen, wie dies den geologischen Befunden besser entspricht.

Ich führte meine diesbezüglichen Untersuchungen in verschiedenen Richtungen weiter fort. Während ich mich bei meinen früheren Berechnungen damit begnügte nur die Ausschläge, d. h. die Amplituden der Oszillationen der Bestrahlung der in Betracht gezogenen Breiten zu berechnen und graphisch darzustellen, erstreckte ich meine neuen Berechnungen dieses Bestrahlungsganges auf eine genügende Anzahl der zwischen diesen Ausschlägen liegenden Zwischenzeiten und erhielt dadurch, statt den Zackenlinien, kontinuierliche Kurven. Statt der früher gebrauchten Darstellung der Strahlungsänderungen durch fiktive Breitenschwankungen, unternahm ich es, die Strahlungsänderungen in absolutem Masse darzustellen, indem ich als Strahlungsmasse die sogenannte kanonische Einheit wählte. Dies ist jene Strahlungsmenge, die man erhält, wenn man die Solarkonstante zur Strahlungseinheit wählt, also $I_0 = 1$ setzt, während man als Zeiteinheit den hunderttausendsten Teil des tropischen Jahres wählt, also $T = 100.000$ setzt. Weil in Wirklichkeit $T = 526.000$ Minuten währt und $I_0 = 2$ Grammkalorien pro cm^2 und Minute ist, so ist die Umrechnung der in kanonischen Einheiten ausgedrückten Strahlungsmenge auf Grammkalorien eine einfache Sache. Eine kanonische Einheit beträgt also $2 \times 5,26 = 10,52$ Kalorien pro cm^2 und Minute. Diese Einheit liegt der in der Figur 7 dargestellten, auf die geographische Breite von 65 Grad nördlich sich beziehende Strahlungskurve zugrunde.

In meiner Schrift berechnete ich aus dem ermittelten säkularen Bestrahlungsgang den zugehörigen säkularen Temperaturgang.

Im Mai 1930 war mein Manuskript fertiggestellt. Ich begab mich nach Graz, um es Köppen persönlich zu überreichen. Er las es aufmerksam durch und sandte es an Gebrüder Bontraeger in Berlin, wo es unverzüglich

unter die Presse ging als Einleitungsartikel des Köppenschen Handbuchs der Klimatologie. Weil meine Arbeit ein in sich abgeschlossenes Ganzes bildete, entschloss sich der Buchverlag sie auch als selbständiges Buch in den Handel zu bringen. Es erhielt den Titel „Mathematische Klimalehre

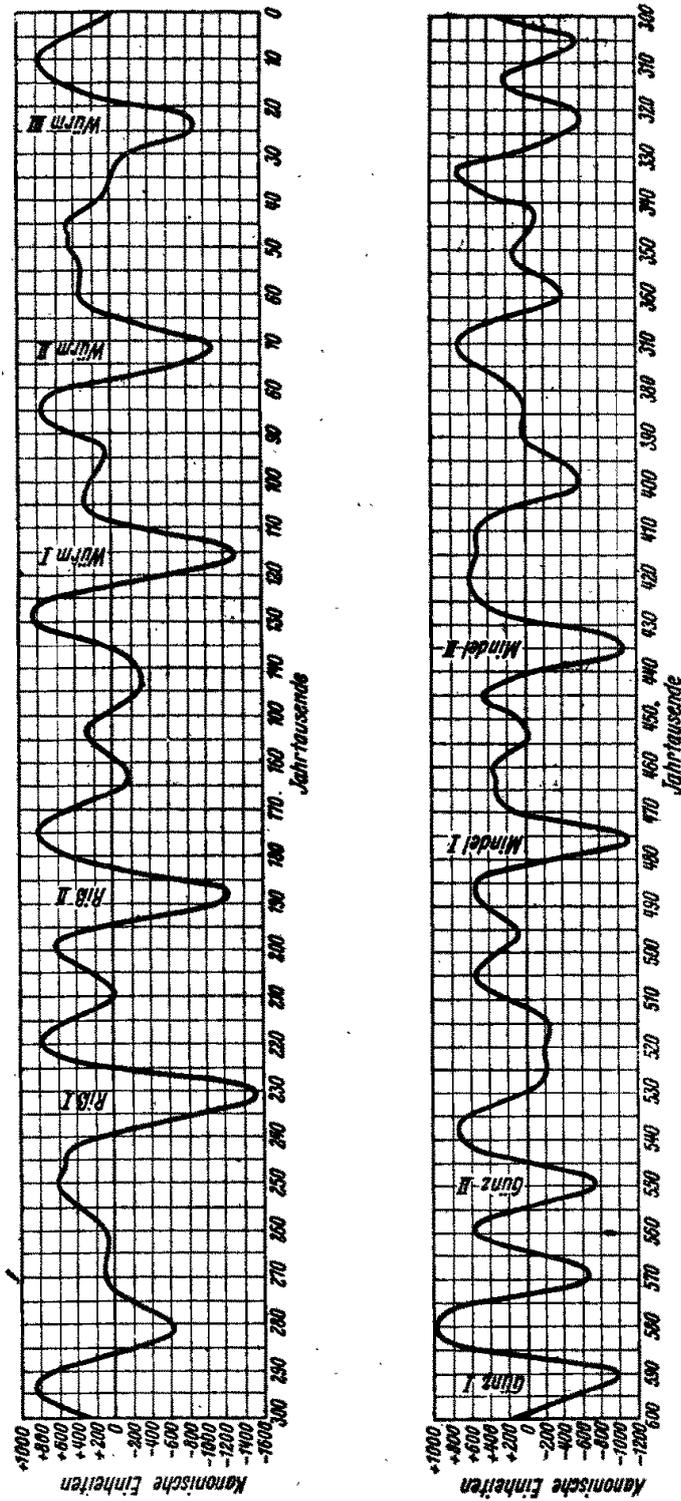


Fig. 7.
Kontinuierliche Strahlungskurve
für 65 Grad nördlich

und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen“. In dieser Form wurde mein Werk ins Russische übersetzt und im Jahre 1939 in 4000 Exemplaren veröffentlicht.

Bald nach seinem Erscheinen, erfreute sich mein Buch beifälliger Besprechung durch R. Mügge in der „Meteorologischen Zeitschrift“, durch J. Keränen in den „Naturwissenschaften“, durch Keilhack, der über meine Theorie in seinem im „Handwörterbuch der Naturwissenschaften“ erschienen Artikel „Eiszeiten“ ausführlich berichtete. Darauf erfolgten ausgiebige Anwendungen meiner Theorie, die das Bild der europäischen Eiszeit zu einem Ganzen formten. Über die ersten Anwendungen meiner Strahlungskurven habe ich bereits berichtet. Ihre weiteren Anwendungen kann ich hier nicht einzeln besprechen und begnüge mich damit, diesem Aufsatz ein Verzeichnis der Schriften fremder Autoren beizufügen, die bei ihren Untersuchungen von meiner Theorie Gebrauch gemacht haben. In diesem Verzeichnis ist der Inhalt jeder dieser Schrift kurz mitgeteilt und auch angegeben wie viel mal mein Name in dieser Schrift erwähnt erscheint.

Es bleibt mir noch übrig, über meine ferneren Arbeiten zu berichten, die über demselben Gegenstand nach der Veröffentlichung meiner „Mathematischen Klimalehre“ veröffentlicht worden sind. Sie behandeln das folgende paläoklimatische Problem. Aus dem hier bereits mitgeteilten erscheint es als erwiesen, dass der säkulare Gang der Erdbestrahlung deutlich sichtbare Spuren am Antlitz der Erde hinterlassen hat. Es blieb aber noch die Frage offen, ob dieser säkulare Bestrahlungsgang allein imstande gewesen war, die grossen Änderungen des vorzeitlichen Klimas hervorzurufen und befriedigend zu erklären. Manche haben dies bezweifelt. Es blieb mir deshalb noch übrig, den Zusammenhang zwischen dem säkularen Bestrahlungsgang der Erde und des vorzeitlichen Klimas zu erfassen und mathematisch darzustellen. Der Weg, den ich dabei gegangen bin, war der folgende.

Die gegenwärtige Höhenlage der Schneegrenze in den verschiedenen Gegenden der Erdoberfläche ist eine Funktion mannigfaltiger Faktoren, der Temperatur, der Niederschläge, des Oberflächenreliefs und anderer sekundären Einflüsse. Stellt man die Frage, welche Verschiebungen diese Schneegrenze infolge der stetig sich ändernder Bestrahlung der Erde im Laufe der Vorzeit erfahren hat, so hat man nur den ersten der soeben angeführten Faktoren in Betracht zu ziehen. Schaltet man also alle übrigen Faktoren aus, so wird die jeweilige Höhenlage der Schneegrenze nur eine Funktion der an der in Betracht gezogenen geographischen Breite herrschenden Temperatur sein können. Sie wird unter den obigen Voraussetzungen, wie dies schon Humboldt, Buch und Renou erkannt haben, eine Isothermfläche der wärmeren Jahreshälfte sein, weil diese wärmere Jahreshälfte für das Abschmelzen des Schnees, also für dessen untere Grenze, allein massgebend ist. Unter der wärmeren Jahreshälfte haben wir das kalorische Sommerhalbjahr zu verstehen. Für das Abschmelzen des Schnees, d. h. für die Höhenlage der Schneegrenze ist die während des kalorischen Sommerhalbjahres zugestrahlte Wärmemenge entscheidend.

W. Köppen hat, nachdem er alle Angaben über die gegenwärtige Höhenlage der Schneegrenze gesammelt hat, ein graphisches Diagramm entworfen über diese Höhenlage an den verschiedenen geographischen Breiten der Erdoberfläche und dasselbe in der vierten Auflage des Wegenerschen Werkes „Die Entstehung der Kontinente und Ozeane“ veröffentlicht. Wir sehen es hier in der Figur 8 wiedergegeben und in der nachfolgenden Figur 9 das von mir berechnete Diagramm, darstellend die Wärmemengen, die während des einen und während des anderen kalorischen Halbjahres den einzelnen geographischen Breiten zugestrahlt werden.

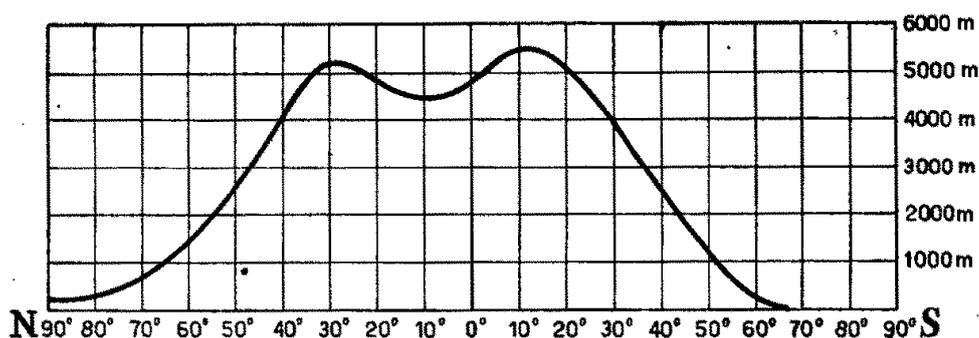


Fig. 8

Heutige Höhe der Schneegrenze in den verschiedenen Breiten.

Von den durch das Diagramm der Figur 9 dargestellten Wärmemengen kommen nur jene in Betracht, die während des kalorischen Sommerhalbjahres den einzelnen geographischen Breiten zugestrahlt werden. Deshalb sind diese Wärmemengen durch die Ordinaten der voll ausgezogenen Linien veranschaulicht. Die Ordinaten der gestrichelt gezeichneten Linien stellen die während des kalorischen Winterhalbjahres zugestrahelten Wärmemengen dar. Der Punkt, in dem sich diese beiden Kurven schneiden, entspricht dem kalorischen Äquator, denn an demselben sind die Strahlungsmengen des Sommer- und des Winterhalbjahres einander gleich.

Vergleichen wir die durch die beiden vorstehenden Figuren dargestellten Kurven, so sehen wir, dass beide dieselbe Form aufweisen. Die mathematische Analyse beweist, dass zwischen diesen beiden Kurven ein Korrelationsfaktor von 0,996 besteht. Dieser ausserordentlich hohe Korrelationsfaktor ist der mathematische Beleg des innigen Zusammenhanges zwischen der Höhenlage der Schneegrenze in den verschiedenen Breiten und der zugehörigen Strahlungsmenge des kalorischen Sommerhalbjahres. Eine weitere mathematische Untersuchung dieses Zusammenhanges liefert das Resultat, dass jede Vergrößerung der sommerlichen Bestrahlung der in Betracht gezogenen geographischen Breite um eine kanonische Strahlungseinheit eine nach oben gerichtete Verschiebung der Höhenlage der Schneegrenze um einen Meter zur Folge hat.

Zu demselben Ergebnis war ich gekommen, als ich aus dem Bestrahlungszustand der Erde den zugehörigen Temperaturzustand ihrer Atmosphäre ermittelte.

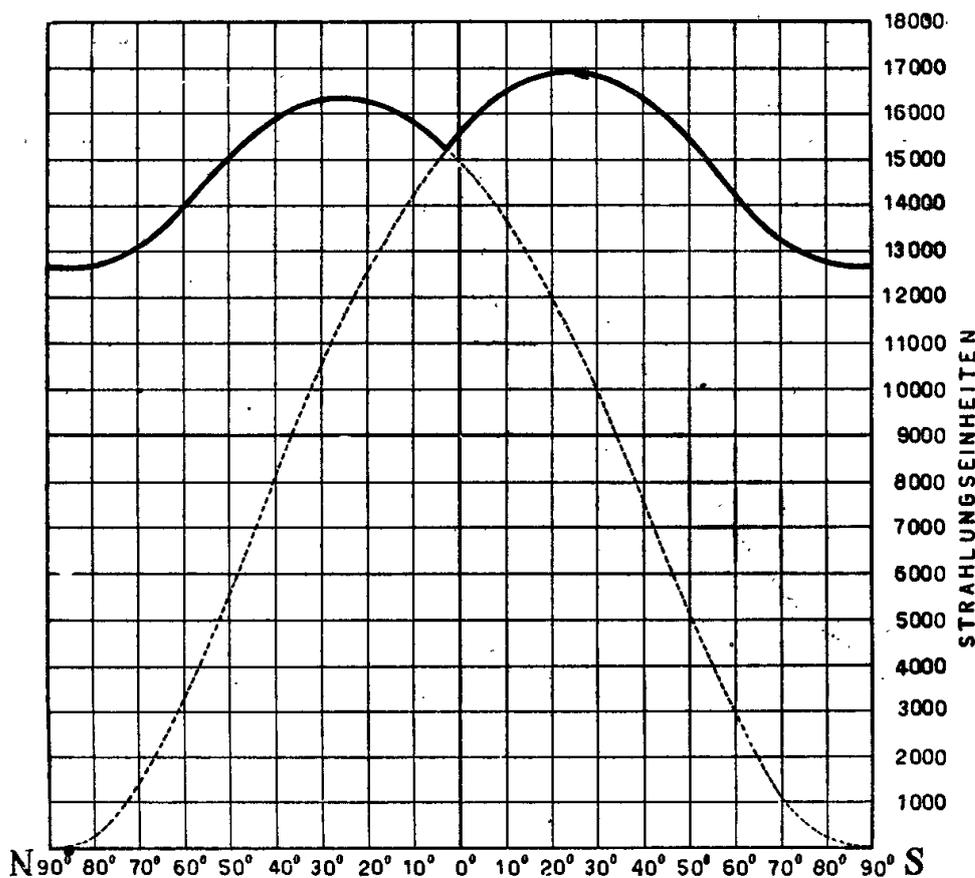


Fig. 9

Wärmemengen, die während der beiden kalorischen Halbjahre den einzelnen Breiten zugestrahlt werden

Vollausgezogene Linie: Sommerhalbjahr, gestrichelte: Winterhalbjahr

Durch dieses Ergebnis haben meine numerischen Tabellen des säkularen Ganges der Erdbestrahlung, die ich vorher veröffentlicht hatte, ihren klimatischen Sinn erhalten. In den in diesen Tabellen mitgeteilten Zahlen ist der wichtigste Effekt dieses Ganges enthalten: die säkularen Änderungen der Höhenlage der Schneegrenze. Man hat nur die in diesen Tabellen oder in der Figur 7 enthaltenen in kanonischen Einheiten mitgeteilten auf die Änderungen der sommerlichen Bestrahlung sich beziehenden Zahlen als Meter aufzufassen, um die zugehörige Verschiebung der Schneegrenze zu erhalten. Dabei deutet das Vorzeichen „Plus“ auf eine Verschiebung der Schneegrenze nach oben, das Zeichen „Minus“ auf eine Verschiebung nach unten.

Die auf diese Weise interpretierten Strahlungstabellen besagen, dass die säkularen Änderungen der Erdbestrahlung genügend gross gewesen waren, um solche Verschiebungen der Schneegrenze hervorzurufen, die ihre deutlichen Spuren am Antlitz der Erde hinterlassen haben um in einer solchen Schrift die Chronologie des Eiszeitalters aufzuschreiben, aber, an und für sich, nicht genügend mächtig gewesen sind, um in vollen Ausmasse

die grossen klimatischen Begebenheiten dieses Zeitalters hervorzurufen. Zu einem solchen vollen Ausmasse war ein weiterer klimatischer Faktor erforderlich. Um denselben zu entdecken und mathematisch zu erfassen, musste ich mit meinen Untersuchungen einen letzten entscheidenden Schritt vollführen. Zu diesem führten mich folgende Überlegungen.

Habe ich das Mittel in der Hand, zu berechnen wann und in welchem Masse die Schneegrenze sich während der Vorzeit nach oben oder nach unten verschoben hat, so bin ich in der Lage zu ermitteln um wie viel die schneeweissen Polarkalotten der Erde ihr Flächenausmass verändert hatten. Diese Kalotten besitzen ein sehr hohes Reflexionsvermögen und weisen dadurch einen namhaften Teil der Sonnenwärme in den Weltraum zurück, der dadurch im Wärmehaushalt der Erde unbenützt bleibt. Verlagert sich also auf einer der beiden Hemisphären der Erde die Höhenlage der Schneegrenze nach unten, so wird dadurch das Flächenausmass der zugehörigen polaren Schneebedeckung entsprechend vergrössert werden und die Temperatur in der weiten Umgebung dieser Schneekalotte in Mitleidenschaft gezogen.

Es hat sich also vor allem darum gehandelt, dieses Defizit der Erdbestrahlung auszurechnen und mit dem säkularen Gange der Erdbestrahlung in Zusammenhang zu bringen. Und zu diesem Zwecke war es notwendig eine zuverlässige Angabe darüber zu erhalten, in welchem Ausmasse die Eis- und Schneebedeckungen der Erde einen Teil der auf sie auffallenden Sonnenstrahlung in den Weltraum zurückreflektieren. Darüber besass ich keine zuverlässigen Angaben, da damals nur die Albedo d. h. das Reflexionsvermögen des Schnees in Bezug auf die Intensität des Lichtes der Sonnenstrahlen, aber nicht hinsichtlich deren Wärmehalt ermittelt worden war. Ohne eine solche Angabe wäre mir unmöglich, an die Berechnung des erwähnten Defizits im Wärmehaushalt der Erde zu schreiten. Aber gerade zur Zeit dieser mich sehr entmutigenden Erkenntnis — es war dies im Sommer des Jahres 1933 — erhielt ich aus Paris eine Postsendung. Sie enthielt eine Abhandlung des jungen Gelehrten Joseph Devaux, der bald nachher als Teilnehmer einer wissenschaftliche Expedition in dem nördlichen Polarmeer der Erde sein Leben verlor. In seiner Abhandlung teilte er die Endergebnisse seiner Untersuchungen über das Reflexionsvermögen der Wärme, die er an den Gletschern der Pirenäen, der Alpen und des Grönlandes durchgeführt hat. Auf Grund der Endergebnisse seiner Untersuchungen konnte ich meine Berechnungen vollführen.

Der ausgezeichnete und sehr verdienstvolle deutsche Klimatologe Walther Wundt hat mir durch seine Untersuchungen über die Änderungen der Erdalbedo die Wege geebnet, auf denen ich zu folgendem Endergebnis gelangte.

Die durch den säkularen Gang der Erdbestrahlung hervorgerufenen Verbreiterungen der polaren Schneekalotten der Erdkugel wiesen einen namhaften, berechenbaren, Teil der der Erde zugewiesenen Sonnenstrahlung ungenützt in den Weltraum zurück. Diese Nebenerscheinung konnte mathematisch erfasst und ihre Wirkung graphisch veranschaulicht werden, wie dies beispielsweise durch den in der Figur 10 dargestellten säkularen Gang der sommerlichen Bestrahlung der nördlichen durch den Breitengrad von

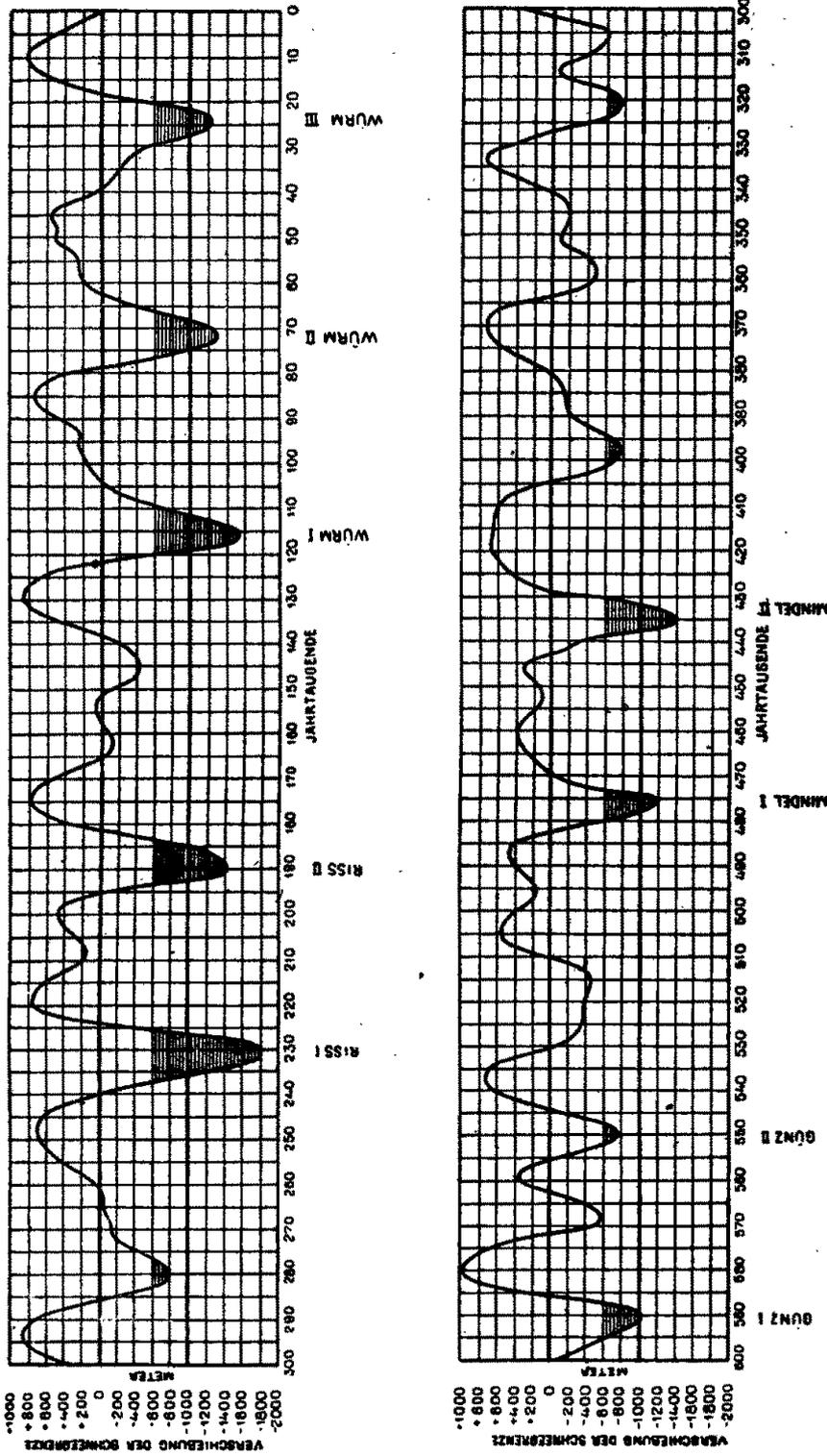


Fig. 10
 Säkularer Gang der sommerlichen Bestrahlung
 der nördlichen durch den Breitenkreis von 55° begrenzten Kalotte der Erde

55 Grad begrenzten Kalotte veranschaulicht erscheint. In dieser Figur sind die diesem Gang zugehörigen Verschiebungen dargestellt.

Vergleicht man diese Figur mit der Figur 7, in der die Wirkungen der Schneebedeckungen der Erde nicht berücksichtigt sind und zieht man in Betracht, dass die der Figur 7 zugrunde liegenden kanonischen Einheiten zugleich auch die in Metern gemessene Höhenlage der Schneegrenze veranschaulichen, so kommen wir zu folgendem Ergebnis.

Die durch die Figur 10 dargestellte Strahlungskurve, bei deren Berechnung das Reflexionsvermögen der Schneebedeckungen berücksichtigt wurde, hat denselben Rhythmus wie die durch die Figur 7 dargestellte meine ursprüngliche Strahlungskurve, unterscheidet sich aber dadurch, dass das Ausmass ihrer Kälteausschläge ein solches ist, dass es auch die grössten Kälteeinbrüche des Eiszeitalters in vollem Ausmass erklären kann. Deshalb blieb mein ursprünglicher Kalender des Eiszeitalters unberührt, nur erscheinen darin die neun grössten Kälteeinbrüche, ähnlich den Feiertagen unseres kirchlichen Kalenders, mit fetten Buchstaben eingetragen.

Einen ausführlichen Bericht über diese meine Untersuchungen habe ich in deutscher Sprache und unter dem Titel „Neue Ergebnisse der astronomischen Theorie der Klimaschwankungen“ im „Bulletin“ der Königlich Serbischen Akademie der Wissenschaften im Jahre 1938 und im Abschnitt VII des neunten Bandes des Gutenbergschen „Handbuches der Geophysik“ veröffentlicht.

Ich fühle mich nun auch verpflichtet, auch jener Aufsätze hier zu gedenken, die sich gegen meine Theorie und ihre Anwendung im paläoklimalen Problem ausgesprochen haben. Der erste diesbezügliche Aufsatz rührt von J. Riem her, als eine in „Petermanns Geographischen Mitteilungen“ im Jahre 1933 veröffentlichte Besprechung meiner „Mathematischen Klimalehre und Astronomischer Theorie der Klimaschwankungen“. Ich gebe diese Besprechung hier wortgetreu wieder:

„Das Buch, eine Neubearbeitung eines Werkes von 1920, will im ersten Teil die Grösse der Sonnenstrahlung und ihre Schwankungen zahlenmässig erfassen wie sie durch die Tages- und Jahreszeiten, aber auch durch die Veränderlichkeit der Elemente der Erdbahn als säkulare Änderungen bewirkt werden. Dann wird ein mit der Wirklichkeit nahe zusammenstimmendes Bild des mathematischen Klimas entworfen, das auf den Transmissions- und Asoptionskoeffizienten der Atmosphäre beruht und dem Leitungskoeffizienten des Erdbodens, wie es sich bei ruhender Atmosphäre als Folge der Sonnenstrahlung einstellen würde. Der dritte Abschnitt will aus den säkularen Veränderungen der Erdbahn die Klimaschwankungen, besonders die Eiszeiten, erklären. Hier überschätzt der Verfasser offenbar die Genauigkeit der astronomischen Konstanten und ihre Veränderungen. Zwar ist der Umlauf des Frühlingspunktes ziemlich genau mit 26.000 Jahren anzugeben, aber sowohl die Periode der Erdbahnexzentrizität mit 92.000 Jahren anzugeben, wie die Veränderung der Schiefe der Ekliptik mit 40.000 Jahren, geht nicht an, dazu ist die Zeit der exakten Beobachtungen viel zu gering. Infolge dessen dürften auch die Tafeln, die auf 600 Jahrtausende gerechnet sind, kaum geeignet sein, die Eiszeiten befriedigend

zu erklären, um so mehr, als der Verfasser zum Schluss auf die Wirkung der Breitenänderungen durch Polverschiebungen und Kontinentalverschiebung aufmerksam macht, Erscheinungen, für deren Erklärung uns die mechanische Ursache nicht angebar ist“.

J. Riem

Diesem Aufsatz von Riem habe ich folgendes entgegenzustellen.

Es ist allerdings richtig, dass ich die Hauptzüge der säkularen Änderungen der Bahn- und Rotationselemente im allgemeinen besprechend, auf Seite 37 meines Buches gesagt habe, die Exzentrizität e der Erdbahn führe ungleiche Oszillationen mit einer mittleren Periode von etwa 92.000 Jahren aus, die oszillierenden Änderungen der Ekliptikschiefe ϵ weisen eine mittlere Periode von etwa 40.000 Jahren. Aber diese Durchschnittswerte sind meinen Berechnungen des säkularen Bestrahlungsganges nicht zugrunde gelegt worden. Vielmehr wurden die Änderungen der Exzentrizität der Erdbahn und jene der Ekliptikschiefe von Pilgrim mittels der Stockwellschen Formeln und von Mischkovitch mittels den Leverrierschen Formeln auf das genaueste Schritt für Schritt verfolgt worden. Auf den Seiten 125 und 126 meines Buches sind in der Tabelle 13 die numerischen Ergebnisse dieser Berechnung wiedergegeben. Hat Riem diese Tabelle und die aus derselben folgende Tabelle 15, die volle sieben Seiten meines Buches umfasst und den säkularen Gang der Erbestrahlung numerisch wiedergibt nicht gesehen? Hat er mein Buch überhaupt durchgeblättert, bevor er jene Unwahrheit über meine Berechnungen keck niedergeschrieben und schamlos veröffentlicht hat?

Köppen war es, der mich auf diesen Aufsatz von Riem aufmerksam gemacht und mir dessen Abzug übermittelt hat. In seinem Briefe schrieb er mir, dass in der wissenschaftlichen Literatur Misstrauen gegen meine Theorie gesät wird, wie dies der Aufsatz von Riem beweist. Er riet mir, gegen denselben Stellung zu nehmen. Aber ich konnte es nicht über mich bringen, mit einem Genger, der bewusste oder unbewusste, auf Mangel an Kenntnis beruhende Unwahrheiten vobringt, in Auseinandersetzungen zu treten. So hat mich sein Aufsatz angeekelt! Ich unterlies es also, auf seine ganz unmassgebende Kritik zu reagieren. Diese meine Unterlassung hatte zur Folge, dass die an der Ausgabe der „Petermanns Mitteilungen“ beteiligten Geographen, sich auf das erwähnte Referat von Riem stützend, wiederholt erklärt haben, ich habe meine Berechnungen des säkularen Ganges der Erdbestrahlung durch Extrapolation durchgeführt und deshalb denselben nicht zu trauen ist.

Nach diesen Vorpostengefechten durch schwach bewaffnete Truppen erfolgte der Hauptangriff gegen meine Theorie der Klimaschwankungen durch Penck selbst. Dies geschah auf dem Kongress der „Inqua“, der Internationalen Vereinigung für die Erforschung des Quartärs in Wien im Jahre 1936. Dieser Angriff bestand in einem einzigen Satz, der also lautete: „Ich habe die Milankovitch'sche Theorie studiert und ich lehne sie ab“.

Die Äusserung Pencks, dass er meine Theorie ablehnt, hätte mich tief betrübt, wenn mich seine Mittelung, dass er meine Theorie studiert hat, nicht zum Lachen gebracht hätte. Schon die Durchblätterung meines

Buches, vollbeladen mit einem komplizierten Apparat der höheren Mathematik, der Theoretischen Physik und der Himmelsmechanik, der Reihenentwicklungen und partiellen Differentialgleichungen, hätte ihn schwindlich machen müssen, denn die mathematische Sprache, die ich in meinem Buche führe, ist ihm ebenso unverständlich wie mir das Sanskrit. Nein und abermals nein! Penck hat mein Werk nicht studieren können, denn dazu fehlten ihm die erforderlichen Kenntnisse der exakten Wissenschaften, sondern hat seine anerkannte Autorität in die Waagschale geworfen um meine Theorie rundwegs abzulehnen.

Penck war, trotz seines Alters, noch immer ein lebhafter und temperamentvoller Mensch und deshalb glaube ich, dass er seine oben erwähnte Äusserung in der Hitze des Gefechtes getan hat. Er liess sie in den Veröffentlichungen der Verhandlungen des Kongresses nicht drucken, um sie der Vergessenheit zu übergeben. Aber auf die Teilnehmer des Kongresses hat seine Äusserung einen tiefen Eindruck gemacht und sie erwarteten von ihm darüber ausführlichere Auskunft.

Penck fühlte sich also verpflichtet, seine Gründe für die Ablehnung meiner Theorie bekanntzugeben. Ich wartete ruhig darauf, um so leichter als bis zu jener Zeit 33 Aufsätze fremder Verfasser erschienen waren, die meine Theorie angenommen und einen ausgiebigen Gebrauch von ihr gemacht hatten, wie dies aus dem am Ende dieses Aufsatzes mitgeteilten Verzeichnis solcher meine Theorie vertretenden Arbeiten ersichtlich ist.

Ende 1938 veröffentlichte Penck in der „Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin“ seine Abhandlung „Die Strahlungskurve und die geologische Zeitrechnung“. In derselben war auch ein schönes Lichtbild von Penck, aufgenommen im April 1938, enthalten. Penck übermittelte mir diese Abhandlung mit einem herzlichen Gruss, denn unter dieses Lichtbild schrieb er eigenhändig: „Alles Gute für 1939!“.

Er hat mir also zur Aussöhnung die Hand gereicht. Ich ergriff sie dankbar und antwortete mit einem verbindlichen Schreiben, in dem ich sagte, dass ich seine Abhandlung gewissenhaft durchstudieren und in meiner nächsten Publikation benützen werde, wobei ich, falls sich dafür eine Notwendigkeit ergeben sollte, der Meinung meines grossen Gegners, in aller Hochachtung, meine eigene Meinung entgegenstellen werde.

Die Pencksche Abhandlung umfasst 30 Seiten Oktavformat. In derselben kommt mein Name 58-mal vor. Schon diese Zahl beweist, dass er meine „Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen“ gewissenhaft durchgelesen und verstanden hat, inwiefern ihm dies seine Kenntnisse ermöglicht haben. Ich glaube, dass er dabei einen Mathematiker zu Hilfe genommen hat, dem er die Aufgabe zugewiesen hat, meine umfangreiche Tabelle über die Erdbestrahlung während der letzterflossenen 600 Jahrtausende, Zahl für Zahl, zu überprüfen. Dies muss ein sehr gewissenhafter Rechner gewesen sein, da er einige ganz unbedeutende, auf der letzten Dezimalstelle vorkommende Druck- oder Rechenfehler entdeckt und ausgebessert hat.

Nach dieser Kontrolle blieb es Penck nicht anderes übrig als zu erklären, „dass in meinen Zahlen nicht bloss eine Bestätigung meiner theoretischen Voraussetzungen, sondern auch die der allgemeinen Richtigkeit

meiner Zahlen zu erblicken ist, in denen wir ein ausserordentlich wichtiges Material besitzen, das für klimatische Fragen ausgewertet werden kann.“ Penck ging noch weiter. Er bezeichnete meine Strahlungstabellen als einen wahren Kanon für die Strahlungsänderungen der letzten 600.000 Jahre.

Es erscheint mir nicht als überflüssig zu erklären was in der astronomischen Wissenschaft als „Kanon“ zu bezeichnen werden pflegt. Dies sind jene Schriften dieser Wissenschaft, die, ähnlich den kirchlichen Schriften, einen unwiderruflichen Charakter besitzen. Diese Bezeichnung gebrauchte der Wiener Astronom Oppolzer für sein Werk, in dem er die genauen Datume der Sonnen- und Mondfinsternisse mitteilte, die während der verflorenen drei Tausend Jahre stattgefunden haben.

Oppolzer war Professor der Universität in Wien und veröffentlichte sein genanntes Werk gerade zu jener Zeit als Penck an derselben Universität tätig war. Dadurch, dass er mein Werk an die Seite jenes von Oppolzer stellte, hat mir Penck hohe Ehre erwiesen.

Aber in Hinblick auf die praktische Anwendbarkeit meiner Tabellen blieb Penck skeptisch. Zwei Gründe sind es, die ihn dazu bestimmten. Der erste derselben ist der, dass die von mir errechneten Strahlungsänderungen nicht genügend mächtig gewesen sind, um die geologisch festgestellten Klimaänderungen in ihrem vollen Ausmass zu erklären.

Diese Meinung habe ich, wie ich es bereits hier erzählt habe, selbst vertreten, bevor ich an meine Untersuchungen über das Reflexionsvermögen der Schneebedeckungen der Erde geschritten bin und erst durch diese Untersuchungen bewiesen habe, dass deren Wirkung eine derartige war, dass sie auch die grössten Kälteeinbrüche in vollen Masse zu erklären im Stande ist. Dies habe ich in meiner, in deutscher Sprache verfassten Abhandlung mitgeteilt, die unter dem Titel „Neue Ergebnisse der astronomischen Theorie der Klimaschwankungen“ im „Bulletin“ der Königlich Serbischen Akademie der Wissenschaften im Jahre 1938 veröffentlicht wurde. Sofort nach ihrem Erscheinen habe ich ein Exemplar dieser Abhandlung an Penck geschickt, aber er hat sie in seiner soeben erwähnten Schrift nicht mehr berücksichtigen können oder nicht wollen.

Die zweite Ursache, warum Penck meine Theorie der Klimaschwankungen abzulehnen sich veranlasst sah, war die folgende.

Lange Zeit bevor ich und Köppen an die Frage über die Ursachen der Eiszeiten geschritten sind, haben sich andere Forscher mit derselben befasst. Einige von ihnen glaubten die Ursache dieser Erscheinung in astronomischen Tatsachen, der Präzession der Tag- und Nachtgleichen, den Änderungen der Ekliptikschiefe und jenen der Exzentrizität der Erdbahn finden zu können. So entstand auf dem Gebiete der Wissenschaft ein ausgebreitetes Beet von Eiszeittheorien, das aber keine reifen Früchte brachte, weil keine von ihnen die Veränderlichkeit aller drei in Betracht zu ziehenden astronomischen Elemente in ihrer Zusammenwirkung in Betracht gezogen hat. So kamen diese Theorien zu absurden Resultaten: dass die Erdbe-strahlung einfach periodisch sei und dass sie sich in diesem einfachen Rhythmus abwechselnd auf beiden Hemisphären der Erde abgespielt hätte. Fast alle diesbezüglichen Forscher haben nur die totale Bestrahlung der einzelnen Hemisphären in Betracht gezogen, aber nicht ihre Verteilung auf

die verschiedenen geographischen Breiten der Erdkugel. Ich habe deshalb in meiner „Théorie mathématiques des phénomènes thermiques“ alle diese Theorien als unzulänglich erklären müssen und in ihr Massengrab auch eine neuere Abhandlung beigesetzt, die im Jahre 1907 Rudolf Spitaler veröffentlicht hat. Darüber muss ich leider ausführlicher berichten.

In der erwähnten Abhandlung von Spitaler habe ich schon im Jahre 1913 in der Aufstellung des mathematischen Ausdruckes, der die Bestrahlung der Erde veranschaulichen sollte, einen groben Ansatzfehler entdeckt, der alle daraus gezogenen Schlussfolgerungen gänzlich entwertete. Obwohl ich damals noch ein Jünger in der Wissenschaft war, wollte ich aus dieser Entdeckung kein Kapital schlagen, begnügte mich bloss damit, diese Unzulänglichkeit in meiner „Théorie mathématique“ nur nebenbei kurz zu erwähnen. Als Spitaler mit seinem Brief darüber nähere Auskunft von mir verlangte, teilte ich ihm in einem ausführlichen Schreiben mit, worin sein Fehlschluss bestand. Er antwortete mir auf dieses Schreiben nicht, aber zwei Jahre nachher veröffentlichte er in der „Meteorologischen Zeitschrift“ eine kurze Erklärung, in der er meine Bemerkungen zu seinem Aufsatz ohne jede Begründung zurückwies.

Ich hatte keine Lust, mich mit ihm in weitere Auseinandersetzungen einzulassen, da ich es nicht als meine Pflicht betrachtete, ihm Unterricht in der Mathematik zu erteilen. Denn er war kein begabter Mathematiker, sondern nur ein Kalkulator, der nach gegebenen Formeln numerische Berechnungen durchführen konnte, aber nicht fähig war, solche Formeln aufzustellen und zu begründen. So veranschaulichte er den säkularen Gang der Erdbestrahlung mittels seiner fehlerhaften Formel durch eine Unzahl numerischer Tabellen. Während aber meine Berechnungen praktische Anwendung fanden und zur Erklärung der Eiszeiten benützt werden konnten, war dies mit den Berechnungen, die Spitaler durchgeführt hat, nicht der Fall. Aber Spitaler war nicht imstande, die Fehlerhaftigkeit seiner Berechnungen einzusehen, äusserte sich aber wiederholt mit Herabsetzung über meine Arbeiten. Dies benützten einige in der Mathematik unkundigen Eiszeitforcher, meine Theorie abzulehnen und darunter war auch Albrecht Penck. En hat in seinem bereits erwähnten Vortrag auf der „Inqua“ Konferenz in Wien meine Theorie mit der Begründung abgelehnt, dass meine Berechnungen mit jenen von Spitaler nicht übereinstimmen.

Dies alles brachte mich nicht aus meiner reservierten Haltung. Ich wusste, dass man mit jenen, die in der Mathematik unkundig sind, über meine mathematische Theorie nicht reden kann. Aber da trat ein Ereignis ein, das mich zwang zu den Spitalerschen Berechnungen Stellung zu nehmen.

Im Jahre 1940 veröffentlichte Spitaler in den „Abhandlungen der deutschen Gesellschaft für Wissenschaft und Künste in Prag“ seine umfangreiche Abhandlung „Die Bestrahlung der Erde durch die Sonne und die Temperaturverhältnisse in der quartären Eiszeit“. Ein Exemplar dieser Abhandlung schickte er der „Meteorologischen Zeitschrift“ zur Besprechung. Die Redaktion dieser Zeitschrift, an deren Spitze damals der Berliner Professor Sühning stand, übermittelte mir die Abhandlung Spitalers mit der Bitte, ein Referat darüber verfassen zu wollen.

Ich erschreck vor dieser schwierigen Aufgabe, denn diese Abhandlung umfasste 80 Seiten Quartformat und war überladen mit numerischen Tabellen, die die Temperaturverhältnisse auf der Erdoberfläche während der letztverflossenen 1,361.540 Jahre zur Darstellung bringen sollte. Aber, da ich diese Pflicht übernommen habe, fasste ich Mut und begann die Abhandlung aufmerksam zu lesen. Das erste und wichtigste was ich dabei erfuhr, war die Erklärung Spitalers, dass er seine früheren zur Chronologie des Eiszeitalters durchgeführten Berechnungen für gegenstandslos erklärt. Er selbst hat also erst nach 27 Jahren und trotzdem ich ihn darauf aufmerksam gemacht hatte, die Fehlerhaftigkeit seiner einstigen Formel eingesehen. Aber jetzt hat er den richtigen Weg gefunden, seine Berechnungen auf fester Basis durchzuführen. Diese Basis bestand in einer neuen Formel, mittels der man den vorzeitlichen Bestrahlungs- und Temperaturgang genau verfolgen kann. Diese Formel ist sehr einfach und viel besser als die komplizierten Rechnungen von Milankovitch, mit denen man — so meint Spitaler — jenen Bestrahlungsgang doch nicht erfassen konnte.

Mit begreiflicher Neugierde ging ich an die Untersuchung dieser von Spitaler aufgestellten, so einfachen und doch so bedeutungsvollen Formel. Aber schon auf der zwölften Seite der Abhandlung blieb ich an einer Stelle verduzt stehen und riss die Augen weit auf. Hier, im eigentlichen Beginn seiner neuen Untersuchungen, hat Spitaler zwei Begriffe verwechselt: ein Zeitintegral durch ein Flächenintegral ersetzt ohne den Zusammenhang zwischen dem Zeitmass und dem Bogenmass zu berücksichtigen. Und diese Unterlassung entwertete ganz und gar die von ihm berechneten und veröffentlichten Tabellen. Denn es ist klar: aus einer falschen Formel können keine richtigen Ergebnisse folgen. So war ich mit meinem Referat über die Spitalersche Abhandlung „Meteorologischen Zeitschrift“, worin ich auf die einfachste Weise die Fehlerhaftigkeit der Spitalerschen Berechnungen nachweisen konnte, bald fertig. Eine Woche nach der Übersendung meines Referates an die Redaktion der Zeitschrift erhielt ich von Sühning ein Schreiben, datiert mit dem 31 Juli 1940, in dem er mir dankte, dass ich so schnell und so gründlich die mir anvertraute Arbeit erledigt habe. Er ist überzeugt, dass ich mit meinem Aufklärungen einen grossen Dienst der Wissenschaft geleistet habe.

Mein Referat wurde in der wissenschaftlichen Welt ohne Widerspruch angenommen und so wurde nach einer langen Reihe von Jahren festgestellt, dass Spitaler einen falschen Weg gegangen ist. Er selbst hat mit Resignation erklärt, dass falls man an seinen Berechnungen die erforderlichen Verbesserungen durchführen würde, man zu brauchbaren Resultaten kommen könnte.

Ich hatte an dem rasch erkämpften Sieg über Spitaler keine Schadenfreude. Es war mir vielmehr leid um den braven, fleissigen und in der Wissenschaft verdienstvollen Mann, dem ein verhängnisvolles Versehen die Früchte seiner langjährigen Arbeit entwertet hat. Aber ich war froh dass der Kampf, den ich mit ihm auszufechten hatte, so rasch beendet war und ich zu meiner Arbeit zurückkehren konnte. Denn zu jener Zeit arbeitete ich an meinem grössten Werke, worüber ich hier berichten möchte.

Meine Mitarbeit an dem Köppenschen und dem Gutenbergschen Handbuch hat, wie bereits erzählt, volle zehn Jahre gedauert und nachher habe ich auch meine, bereits erwähnte Abhandlung „Neue Ergebnisse der astronomischen Theorie der Klimaschwankungen“ veröffentlicht. Ich wollte nun alle diese zerstreut veröffentlichten Ergebnisse meiner Untersuchungen in einem einzigen Werke zusammenfassen. Dies geschah durch mein grosses Werk „Kanon der Erdbestahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem“, das als eine besondere Ausgabe der Königlich Serbischen Akademie in deutscher Sprache im Jahre 1941 veröffentlicht wurde.

Dies Buch, das 654 Seiten Quartformat umfasst, teilt mit, ergänzt und erweitert meine früheren Veröffentlichungen über denselben Gegenstand, vor allem durch seinen Abschnitt, der die zum Verständnis seines Inhaltes erforderlichen Lehren der Himmelsmechanik vollständig wiedergibt und ausserdem durch die zahlreichen numerischen Tabellen, die über alle Einzelheiten der Erdbestrahlung während der letztverflossenen 600 Jahrtausende Auskunft geben, auch bei Berücksichtigung des Reflexionsvermögens der vorzeitlichen Schneebedeckungen. Dieses reichhaltige numerische Material hat mich veranlasst, auf Penck mich berufend, dem Buch den vorstehend mitgeteilten Titel zu geben.

Ich wiegte mich damals in der Hoffnung, mit meinem Werke einen Brückenschlag zwischen den Gebieten der exakten und der beschreibenden Wissenschaften bewerkstelligt zu haben, aber bald musste ich diese Hoffnung als trügerisch aufgeben. Denn der Übergang über diese Brücke wäre nur denen möglich, die über die zum Verständnis meines Werkes erforderlichen Kenntnisse der Mathematik verfügen. Und solche Kenner sind unter den Gelehrten der beschreibenden Naturwissenschaften gar selten zu finden.

Als ich mein Buch schrieb, war der erste Weltkrieg in vollen Gange und so hatte mein Buch auch sein Kriegsschicksal. Den 2 April 1941 waren alle seine Druckbogen fertiggestellt. Ich sah sie ausgebreitet und aufeinander geschichtet in einem Nebengebäude der Buchdruckerei. Sie sollten nur noch gefaltet und zusammengeheftet werden. Aber vier Tage nachher erfolgte, mit dem Ausbruch des Krieges zwischen unserem Staate und Deutschland, ein Angriff deutscher Flieger auf Belgrad, von dem ich mit meiner Familie Rettung in der Umgebung der Stadt suchen musste. Nach weiteren sieben Tagen war Belgrad von den deutschen Truppen besetzt, ich konnte in die Stadt zurückkehren und mein arg beschädigtes Heim, so gut es ging, wieder wohnbar machen. Sobald dies geschehen war, begab ich mich in die innere Stadt und suchte zwischen den dort eingestürzten Häusern das Gebäude der Buchdruckerei. Ich fand es in Trümmern, unter welchen die Druckbogen meines Buches begraben lagen. Als man diese Trümmer mit schwerer Mühe wegräumte, fand man die Druckbogen meines Buches durch die inzwischen stattgefundenen Regengüsse arg beschädigt. Es zeigte sich aber dabei, dass nur die zehn letzten Druckbogen des Buches derart beschädigt waren, dass man sie neu drucken musste. Zum Glück war der Satz für diese Druckbogen noch erhalten, so dass sie neu gedruckt werden konnten, allerdings auf einem gelblichen Papier. Diesen Schönheitsfehler

nahm ich in Kauf, weil er zugleich als Erinnerung an die sturmbelegten Zeiten, in denen mein Buch entstand, zu betrachten ist.

Wegen dieser Zwischenfälle erfolgte die Fertigstellung meines Buches erst im Herbst 1941 und ich erhielt die mir gehörigen Autorsexemplare. Ich wusste vorerst nicht, was ich damit tun soll. Das Buch hatte ein solches Gewicht, dass es nicht als eine rekommandierte Sendung der Post übergeben werden konnte, und die Absendung von Paketen unterlag einer sehr umständlichen Verzollungsmanipulation. Aber nach und nach fand sich die Möglichkeit, das Buch nach Deutschland abzusenden. Die erste solche Gelegenheit ergab sich als mich zwei Schüler von Soergel, auf ihrer Durchreise nach dem afrikanischen Kriegsschauplatz, besuchten, um sich zu erkundigen, wie es mir geht und ob sie mir in irgend welcher Form behilflich sein könnten. An demselben Tage ging das erste Exemplar meines Buches mit Flugpost nach Deutschland ab. Und ähnliche Gelegenheiten wiederholten sich in ununterbrochener Reihe, so dass meine freundschaftlichen Beziehungen mit den deutschen Gelehrten aufrecht erhalten blieben, ja noch fester geknüpft wurden, wie dies die folgenden Begebenheiten zeigen.

Im Jahre 1943 erhielt ich von Carl Troll ein Schreiben, in dem er mich ersuchte, ihm mein Lichtbild zu senden, damit er es veröffentlichen könne. Im Mai 1944 erhielt ich von dem Prorektor der Universität in München die Einladung zu einem Vortrag über meine Forschungen. Und bald darnach erhielt ich eine ähnliche Einladung vom Dekan der Philosophischen Fakultät der Universität in Wien. Aber das rasche Vordringen der russischen Armee über die Donau hinweg unterbrach alle diese Verhandlungen.

Ich musste mich fragen, was die Ursache dieses neu belebten Interesses für meine Theorie gewesen ist. Dies erfuhr ich erst nach und nach.

Von den nach Deutschland versendeten Exemplaren meines Buches kam eines in die Hände des bereits erwähnten Klimatologen Walter Wundt, der auf Einladung von Sühning ein Referat über meinen „Kanon“ in der „Meteorologischen Zeitschrift“ im Jahre 1944 veröffentlichte. Und in demselben Jahre unternahm die Geologische Vereinigung und unter der Redaktion von Carl Troll ein besonderes Heft ihrer „Geologischen Rundschau“ herauszugeben, das ausschliesslich dem Klima der Vorzeit gewidmet sein soll. Dieses „Klimaheft der Geologischen Rundschau“ erschien im Jahre 1944, kam aber in meine Hände erst viel später. Über den Inhalt dieses Heftes muss ich etwas ausführlicher berichten.

Es ist dies ein grösseres Buch von fast 500 Seiten Umfang. Es enthält neben der von Troll verfassten Einführung 13 Abhandlungen verschiedener Gelehrten. In seiner Einführung teilt Troll mir, dass es die Aufgabe dieser Veröffentlichung ist, den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse über die Geologie und das Klima des Quartärs darzustellen. Beginnend mit den grundlegenden Arbeiten von Penck, teilt er mit, dass sich die Geologische Vereinigung freut, diese Veröffentlichung dem im hohen Alter noch in voller geistigen Frische stehenden Altmeister der Eiszeitforschung vorlegen zu können. Im Verlaufe seiner weiteren Ausführungen gedenkt Troll mit voller Anerkennung der Arbeiten von Soergel, Eberl, Blanc und Wundt, also der hauptsächlichsten Vertreter meiner Theorie. Über die Ursachen der

Eiszeiten redend, teilt Troll mit, dass im Verlaufe der verflissenen 20 Jahre an deren Erforschung die astronomische Theorie der Eiszeiten ihre endgültige Bedeutung bekommen und ihre Vollgliederung durch Soergel und Eberl erhalten hat.

Diese Zeilen lesend, drängte sich mir die Frage auf, ob Troll für eine solche Äusserung die Zustimmung seines Lehrers Penck erhalten hat. Ich war überzeugt, dass er sie nicht ohne seine Wissen tun konnte.

Aber Troll ging noch weiter. Im sechsten Abschnitt des Heftes, der die Überschrift trug „Die Ursachen der Eiszeiten“, veröffentlichte er die Beiträge von Wundt und Meinardus, die auf 50 Seiten meine Theorie eingehend zur Mitteilung brachten. Die Abhandlung von Wundt trägt die Überschrift „Die Mitwirkung der Erdbahnelemente bei der Entstehung der Eiszeiten“. In derselben erscheint meine Theorie auch für Nichtmathematiker zugänglich dargestellt. Dabei gedenkt er auch der Arbeiten von Spitaler, weist ihre prinzipielle mathematische Fehlerhaftigkeit nach und schliesst damit, dass alle auf verschiedenen Stellen veröffentlichte Aufsätze von Spitaler, so sehr seine Verdienste um die Eiszeitforschung anzuerkennen sind, als unrichtig abzulehnen sind.

Meinardus hat seinem Beitrag den Titel gegeben „Zum Kanon der Erdbestrahlung“ mit der Bemerkung, dass er dies nach meinem Werke getan hat, in welchem ich meine Forschungen über das Klima der Vergangenheit und die Gliederung der Eiszeit zum Abschluss gebracht habe. Die Resultate meiner Arbeit hat er durch eigene Forschungen und graphische Darstellungen bekräftigt. Seine Ausführungen beschliesst Meinardus wie folgt.

Dass die säkularen Schwankungen der Bestrahlung der Erde quantitativ nicht ausreichend gewesen wären, um den Wechsel von glazialen und interglazialen Zeiten in der Quartärzeit zu erklären und dass aus diesem Grunde die von Milankovitch aufgestellte astronomische Theorie der eiszeitlichen Gliederung abzulehnen wäre, muss als ein überwundener Standpunkt bezeichnet werden. Denn durch die Einführung des Reflexionsvermögens und der Ausstrahlung der Schneedecke durch Wundt und Milankovitch, denen andere Forscher gefolgt sind, konnte erwiesen werden, dass die negativen sommerlichen Strahlungsschwankungen auf dem Wege der Selbstverstärkung Änderungen der Temperatur auslösten, die ausreichend waren, um die Temperatur der Erde in allen Zonen zu erniedrigen. Diese Feststellung darf die andere Ansicht nicht ausschliessen, dass zu den solaren Wirkungen noch terrestrische hinzukamen, die für eine Eiszeitbereitschaft massgebend wurden.

Nach und nach erhielt ich auch von anderen ausländischen Gelehrten Veröffentlichungen, die sich mit meiner Theorie befassten. Aus England, wo F. E. Zeuner sein grosses Werk „Dating the past. An introduction to Geochronology“ im Jahre 1946 veröffentlichte. In demselben macht er ausgiebigen Gebrauch von meiner Theorie und verwendet sie auch für die Datierung der paläolithischen Kulturen. Aber die meisten dieser ausländischen Veröffentlichungen kamen aus Italien, von wo mir in rascher Folge acht Abhandlungen übermittelt wurden, die von meiner Strahlungskurven ausgiebigen Gebrauch machten. Einer von diesen Verfassern, A. C. Blanc,

mit dem ich in Wien bekannt und befreundet wurde, schrieb mir eines Tages, meine Theorie hätte auch in der Accademia Nazionale dei Lincei in Rom einen schönen Sieg errungen. Wie dies geschehen ist, erfuhr ich erst später als ich die Veröffentlichung dieser Akademie „Le epoche glaciali. Relazione e Discussione“ zu Gesicht bekam. Es ist dies ein ausführlicher Bericht über die in dieser Akademie den 8. und 9. April 1949 abgehaltenen Sitzungen, in denen nur über die Eiszeittheorien diskutiert worden war. Da ich leider die italienische Sprache nicht beherrsche, habe ich mit eigener Kraft nur feststellen können, dass sich an dieser Diskussion zwölf Gelehrte beteiligten und dass in derselben mein Name 56-mal genannt wurde. Später habe ich mit fremder Hilfe feststellen können, dass die Mitteilung, die mir Blanc über diese Diskussion übermittelte, den Gesamteindruck derselben ziemlich genau wiedergibt. Das wichtigste Ergebnis dieser Diskussion war aber, dass einer der Teilnehmer es unternahm, sich mit meiner Theorie gründlich bekannt zu machen.

Dies war der italienische Gelehrte Carlo Somigliana. Er veröffentlichte im Jahre 1952 zwei Abhandlungen. In der ersten derselben „Clima matematico e Paleoclimatologia“, die in den „Rendiconti del Seminario Matematico e Fisico di Milano“ veröffentlicht wurde, gibt er in klarer mathematischen Sprache die Hauptergebnisse meiner Theorie getreulich wieder. In seiner zweiten Abhandlung „Applications géophysiques de la mécanique céleste“, die in der internationalen wissenschaftlichen Revue „Scientia“ veröffentlicht wurde, ist es ihm gelungen, ohne Benützung des mathematischen Apparates die Leitideen meiner Theorie mit ihren wichtigsten Anwendungen spannend und mit wunderbarer Klarheit wiederzugeben. Zusammenfassend, bezeichnet er meine Theorie als eine grossartige Synthese der Ergebnisse der geophysischen Forschungen mit den Lehren der Astronomie, der Mathematik und der Geologie, wie man sie kaum sonst begegnet in anderen Gebieten der Wissenschaft. Sie hat eine neue Methode der Forschung geschaffen und neue Wege eröffnet, die weiter ausgebaut werden könnten, aber die schon jetzt zu bedeutenden Ergebnissen geführt hat. Von nun an wird sie kein Forscher unbeachtet lassen können.

Diese lobspendenden Worte Somiglianas über meine Theorie sind nicht nur als Artigkeiten zu betrachten, sondern als Ausdruck einer ehrlichen Überzeugung. Und zu einer solchen ist er gelangt durch das gründliche Studium aller meiner in Betracht zu ziehenden Veröffentlichungen. Kein anderer Gelehrte, der sich mit meiner Theorie befasst hat, hat sie so gründlich verstanden wie Somigliana. Und als er mir seine beiden Abhandlungen überreicht hat und ich mit ihm in Briefwechsel trat, war es mir klar geworden, was die Ursache seines Verständnisses für meine Theorie war: Er war Professor der Theoretischen Physik an der Universität in Turin und konnte in meine Theorie tiefer hineinblicken als andere, die seine Kenntnisse nicht besaßen.

Das Schrifttum über meine astronomische Theorie der Klimaschwankungen und deren Anwendung in der Paläoklimatologie und Paläologie hat durch zahlreiche Veröffentlichungen auch anderer Gelehrten einen stattlichen Umfang erreicht. Im Anhang zu dieser meiner Veröffentlichung gebe ich ein Verzeichnis solcher Schriften, die mir von deren Verfassern

übergibt worden sind und die nun in der Zentralbibliothek der Serbischen Akademie der Wissenschaften in einer besonderen Kollektion vereinigt erscheinen. Es ist mir unmöglich über alle diese Schriften einzeln zu berichten und so will ich hier mein eigenes Urteil über meine Theorie und deren Anwendungen in Kürze mitteilen.

Meine Theorie fusst auf zwei exakten Naturgesetzen, dem Newtonschen Gravitationsgesetz, auf dem die Himmelsmechanik aufgebaut erscheint, und dem Gesetz über die Ausbreitung der Sonnenstrahlung, einem Grundgesetz der Theoretischen Physik. So hatte Somigliana vollkommen Recht, meine Theorie als eine Synthese der genannten zwei Wissenschaften zu bezeichnen. Mich auf die Zuverlässigkeit dieser zwei Wissenschaften berufend, kann ich mit aller Entschiedenheit behaupten, dass der säkulare Bestrahlungsgang der oberen Grenze der Erdatmosphäre so verlaufen ist, wie er durch meine Strahlungskurven dargestellt erscheint. Er hat, wie dies durch die Ergebnisse der geologischen Forschung erwiesen erscheint, tiefe Spuren am Antlitz der Erde hinterlassen, und auf diese Weise hat das Eiszeitalter seinen astronomischen Kalender erhalten. Aber aus den Strahlungskurven sind nicht alle Folgen der unzweifelhaft festgestellten Veränderlichkeit der Erdbestahlung direkt ablesbar. Denn zwischen der oberen Grenze der Erdatmosphäre liegt die Lufthülle der Erde ausgebreitet. Ich habe mir alle Mühe gegeben, auch den Einfluss der Erdatmosphäre in meine Untersuchungen einzubeziehen. Über den Einfluss der in den Zeiten der säkularen Minima der sommerlichen Erdbestahlung abgelagerten Schneebedeckungen habe ich bereits gesprochen, aber jetzt will ich dem dort gesagten noch folgendes hinzufügen.

Dem nach einem solchen Minimum sich einstellendem Aufstieg der sommerlichen Bestahlung war eine schwere Aufgabe zugewiesen. Sollte er in seiner vollen Stärke sich äussern können, musste er vorher die Eisbedeckung der in Betracht gezogenen Gegend wegschaffen und erst, nachdem dies geschehen war, konnte der Bestrahlungsaufstieg sich in vollem Ausmass geltend machen können und auch von einem Temperaturanstieg gefolgt sein. Dies alles hatte zur Folge eine Verlängerung der Eiszeiten über die Wellentäler meiner Strahlungskurve.

Diese Erscheinung hat Rudolf Grahmann berücksichtigt in seinem schönen Werke „Urgeschichte der Menschheit, in dem er meine Strahlungskurven für Zeitangaben zugrunde legte.

Die Interglaziale waren also kürzer als dies aus dem Strahlungsdiagramm folgen würde. Ja, in den Zentren der Vereisungsgebiete könnten zwei naheliegenden Zacken des Strahlungsdiagrammes die Spur einer einzigen längeren Zacke hinterlassen haben.

Ich habe über diese Fragen gesprochen in einem Vortrag, den ich im Jahre 1953 auf dem in Rom abgehaltenen Kongress der „Inqua“ in französischer Sprache gehalten habe. Dieser Vortrag ist auch in deutscher Sprache veröffentlicht unter dem Titel „Über den Anteil der exakten Wissenschaften an der Erforschung der geologischen Vortzeit“ in den „Publications de l'Institut mathématique“ der Serbischen Akademie der Wissenschaften erschienen ist.

In diesem Vortrag habe ich berichtet, wie aus der Mächtigkeit der einstigen Schneedecke, wenn sie ihre Spuren hinterlassen hat, die Verzögerung des Temperaturanstieges berechnet werden könnte. Aber diese Untersuchungen bilden den tellurischen Teil des Eiszeitenproblems und müssen den Erfahrungswissenschaften zur Behandlung und Lösung überlassen werden.

Ich muss hier noch eine, auf das Klima der Vorzeit sich beziehende Frage berühren, nämlich jene, warum die Eiszeiten auf das Quartär beschränkt waren und im Tertiär und in den früheren geologischen Zeitabschnitten nicht in Erscheinung getreten sind? Diese Erscheinung wurde ebenfalls als Argument gegen meine Theorie ins Feld geführt.

Ich kann ihr eine Erklärung geben, die meiner Theorie nicht nur nicht widerspricht, sondern in ihren Rahmen zwanglos sich einfügt.

Der vorzeitliche Bestrahlungsgang, wie ich ihn durch meine Strahlungskurven veranschaulicht habe, setzt sich aus zwei verschiedenen Schwankungen der Erdbestahlung zusammen. Die eine derselben war hervorgerufen durch die Schwankungen der Ekliptikschiefe, die andere, durch die periodischen Änderungen der Exzentrizität der Erdbahn im Verein mit dem Umlauf des Perihels. Diese zwei Komponenten der Strahlungsschwankungen haben von einander verschiedene, auch mit der Zeit sich ändernde Perioden. Die grossen, durch meine Zackenlinien veranschaulichten Ausschläge, d. h. die Amplituden der Erdbestahlung, kommen nur durch Interferenz dieser beiden komponentalen Schwankungen zustande, wenn beide in demselben Sinne wirksam sind und sich summieren und verstärken. Ist die Exzentrizität der Erdbahn sehr klein, so bleibt nur die eine Komponente wirksam und diese allein ist nicht imstande solche Änderungen der Erdbestahlung hervorzurufen, die genügend mächtig sind, eine Eiszeit hervorzurufen. Mit einem Worte: bei kreisrunder Erdbahn kommen keine Eiszeiten zustande. So kann das Fehlen von Eiszeiten vor dem Quartär, wie dies schon Himpel richtig bemerkt hatte, dadurch erklärt werden, dass damals die Exzentrizität der Erdbahn gleich Null oder zumindestens verschwindend klein gewesen sein musste.

Und so kommen wir zu einem neuen Problem, wie das damalige Fehlen einer bemerkbaren Exzentrizität der Erdbahn verständlich gemacht werden könnte.

Ohne uns in die verschiedenen kosmogonischen Hypothesen weiter einzulassen, von denen nach Ansicht des grossen Mathematikers Henri Poincaré jene von Laplace doch die annehmbarste wäre und die dafür spricht, dass die ursprünglichen Bahnen der Planeten kreisrund waren und nehmen wir dies als Tatsache an, so muss die Erdbahn erst später, im Laufe der Zeit und durch irgend ein kosmisches Ereignis, ihre gegenwärtige elliptische Form erhalten haben. Und solcher bemerkenswerter Ereignisse gab es wiederholt im Lebenslauf unseres Planetensystems. Ein solches war das folgende.

In der Nacht von 11. zum 12. November 1799 beobachteten Alexander von Humboldt und sein Genosse Aimé Bonpland in Cumana, Venezuela, das Niederfallen der Sternschnuppen Leoniden, und Humboldt gab uns eine meisterhafte Beschreibung dieser prachtvollen Erscheinung. Sie wie-

derholte sich in solcher Pracht in den Jahren 1833 und 1866, aber nur kaum bemerkbar in Jahre 1898. Die Ursache davon war die, dass der riesige Planet Jupiter, als der Schwarm im Jahre 1898 in seine Nähe kam, durch seine gewaltige Anziehungskraft die Bahn des Schwarmes derart abgelenkt hat, dass der Schwarm nicht mehr in seine frühere Nähe zu uns kommen wird. So wird man so glänzende Leonidenfälle, wie die von 1799, 1833 und 1866, nie mehr wiedersehen.

Unsere Sonne bewegt sich mit ihrer ganzen Familie mit einer Geschwindigkeit von rund 20 Kilometern in der Sekunde durch das Weltall. Auf ihrer schnellen und ewig dauernden Bewegung kann diese Familie, was sehr wahrscheinlich ist, in eine derartige Nähe zu anderen Weltkörpern geraten, dass deren Anziehungskraft Störungen in den kreisförmigen Bewegungen der Planeten um die Sonne hervorrufen könnte. Als ein Beispiel dafür wäre der im Jahre 1930 entdeckte Planet Pluton zu betrachten. Er unterscheidet sich von allen anderen Planeten durch die überaus grosse numerische Exzentrizität seiner Bahn, die mit dem Betrag von 0,2486 die Exzentrizitäten der Bahnen aller übrigen Planeten überragt, mehr noch durch die Neigung seiner Bahnebene zu jener der Erde, die im Betrage von $17^{\circ} 8' 39''$ viel grösser ist als die Neigungen der Bahnebenen der übrigen Planeten. Es scheint also, dass dieser Planet aus seiner ursprünglichen Bahn durch eine äussere Kraft herausgerissen worden ist.

Diese Ansicht vertreten die ausdauernden Beobachter des Planeten Pluton, Kuiper, Walker und Hardie, auf Grund der folgenden Tatsachen. Schon bald nach der Entdeckung dieses Planeten wurde die Frage laut, ob man ihn in die Kategorie der grossen Planeten, zu denen wir ihn heute zählen, einfügen darf. Sein Durchmesser ist zehnmal kleiner als der Durchmesser des Planeten Neptun, während der Durchmesser des Erdmondes nur viermal kleiner ist als der Durchmesser unserer Erde. Seinen Dimensionen nach, wäre also dem Pluton nur die Rolle eines Satelliten zu gestehen und zwar eines Satelliten des Planeten Neptun, um so mehr als er auf seinem Wege in das Innere der Bahn des Planeten Neptun hineingelangt. Der Planet Pluton wäre also als ein, einst gewesener grosser Satellit zu betrachten, der durch die Anziehung eines Weltkörpers, in dessen Nähe unser Sonnensystem geraten war, aus seiner ursprünglichen, den Planet Neptun umkreisenden Bahn herausgerissen worden ist.

Nehmen wir also an, dass dieses Ereignis tatsächlich stattgefunden hat, so müssen wir daraus den Schluss ziehen, dass diese Begebenheit von Einfluss auch auf die übrigen Mitglieder unseres Planetensystems gewesen war und die kreisrunden Bahnen derselben in elliptische verwandelt hat. Und erst dadurch wurden die Möglichkeiten für den Eintritt der Eiszeiten auf unserer Erde geschaffen. Diese Eiszeiten begannen erst mit den von Eberl entdeckten vorgünzischen Eiszeitphasen, deren Spuren auch am Südrande der Alpen von italienischen Geologen entdeckt worden sind. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, das Ereignis des Überganges des Pluton aus seiner Satellitenrolle in jene eines Planeten zu datieren. Dies geschah knapp vor 950 Jahrtausenden vor der Gegenwart.

Aus allem vorstehenden folgt, dass die Frage von der Entstehung der Eiszeiten ein kosmisches Problem darstellt, das nur durch die Gesetze

der Himmelsmechanik und der Theoretischen Physik gelöst werden konnte. Aber den beschreibenden Naturwissenschaften, der Geographie und der Geologie, blieb es vorbehalten, das Tatsachenmaterial der Zeugnisse der vorzeitlichen Vereisungen zu sammeln und zu ordnen. Der noch immer grosser Abgrund, der die exakten Wissenschaften von den beschreibenden trennt, war die Ursache mancher Missverständnisse, die ihre Zusammenarbeit erschwert hat. So hat Penck meine Theorie anfangs abgelehnt, weil er sie nicht hat verstehen können, da ihm die dazu erforderlichen Kenntnisse gefehlt haben. Aber er hat in unermüdlicher Lebensarbeit die Spuren der vorzeitlichen Vereisungen entdeckt und geordnet und dadurch das Eiszeitenproblem exakt formuliert. Und eine solche Aufstellung des Problems ist der richtige Weg zu seiner Lösung. Deshalb sind die Verdienste Pencks um die Lösung des Eiszeitenproblems unvergänglich, weshalb ich, seinen Namen ehrfurchtsvoll nennend, diese Abhandlung beendige.

VERZEICHNIS

der Schriften des Verfassers über den hier behandelten Gegenstand.
(Fettgedruckte Anschriften für selbständige Werke)

1. *Über die Verteilung der Sonnenstrahlung auf der Erdoberfläche*, (Serbisch, 79 Seiten) Berichte der Königlich Serbischen Akademie. Band XCI. 1913.
2. *Über die Anwendung der mathematischen Theorie der Wärmeleitung auf Probleme der Kosmischen Physik* (Serbisch, 23 S.) Arbeiten der Jugoslawischen Akademie der Wissenschaften und Künste Band 204. 1913. Ein Auszug aus dieser Abhandlung erschien im Bulletin des travaux de l'Académie des sciences de Zagreb. 1914.
3. *Zur Theorie der Strahlenabsorption in der Atmosphäre* (16 S.) Annalen der Physik. Vierte Folge. Band 43 1914.
4. *Über die Verringerung der Wärmeabgabe durch die Marsatmosphäre* (12 S.) Annalen der Physik. Vierte Folge. Band 44, 1914.
5. *Über die Frage der astronomischen Theorien der Eiszeiten*. (Serbisch, 10 S.) Arbeiten der Jugoslawischen Akademie der Wissenschaften und Künste Band 204. 1914. Eine von V. Varićak besorgte deutsche Übersetzung dieser Abhandlung erschien im Bulletin des Travaux de l'Académie des sciences de Zagreb. 1915.
6. *Untersuchungen über das Klima des Planeten Mars*. (Serbisch, 33 S.) Arbeiten der Jugoslawischen Akademie der Wissenschaften und Künste. Band 213. 1916. — Eine deutsche Übersetzung dieser Abhandlung erschien im Bulletin des Travaux de l'Académie des sciences de Zagreb. 1916/7.
7. **Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire**. (XVI 399 S.) Veröffentlichung der Jugoslawischen Akademie der Wissenschaften und Künste, verlegt durch Gauthier Villars et Cie, Paris 1920. Eine deutsch geschriebene Inhaltsangabe des Werkes erschien im Bulletin des Travaux de l'Académie des sciences de Zagreb 1920.
8. *Kalorische Jahreszeiten und deren Anwendung im paläoklimalen Problem*. (Serbisch mit einer französischen Inhaltsangabe, 30 S.) Berichte der Königlich Serbischen Akademie. Band CIX. 1923.
9. *Das Kalendarium der Erdgeschichte*. (Serbisch, 9 S.) Berichte der Königlich Serbischen Akademie. Band CXVII. 1926.
10. *Untersuchungen über die thermische Konstitution der Planetatmosphären*. (Serbisch mit einer französischen Inhaltsangabe 16 S.) Berichte der Königlich Serbischen Akademie. Band CXX. 1926.
11. *Über die Temperaturoszillationen in den verschiedenen Schichten der Atmosphäre*. (Serbisch, mit einer französischen Inhaltsangabe. 19 S.) Berichte der Königlich Serbischen Akademie. Band CXXXIV. 1939.
12. *Astronomische Theorie der säkularen Variationen des Klimas*. (Serbisch, 63 S.) Berichte der Königlich Serbischen Akademie. Band CXLIII. 1931.
13. **Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen**. (176 S.) Band I, Teil A des Köppen-Geigerschen Handbuchs der Klimatologie¹. Berlin 1930. Eine russische, von Hrgljan besorgte Übersetzung dieses Werkes erschien in Moskau 1939.

14. *Über die Uratmosphäre der Erde.* (4 S.) Gerlands Beiträge zur Geophysik. Band 33. 1931.
15. *Stellung und Bewegung der Erde im Weltall.* (70 S.) Abschnitt II des ersten Bandes des Gutenbergschen „Handbuches der Geophysik“ Berlin 1931.
16. *Drehbewegungen der Erde.* (67 S.) Abschnitt VI des ersten Bandes des Gutenbergschen „Handbuches der Geophysik“ Berlin 1933.
17. **Die Mechanik des Himmels.** (Serbisch, 333 S.) Lehrbücher der Universität in Belgrad. 1935.
18. *Neue Ergebnisse der astronomischen Theorie der Klimaschwankungen.* (Serbisch 41 S.) Berichte der Königlich Serbischen Akademie. Band CLXXX. 1937. Eine vollständige deutsche Übersetzung dieser Abhandlung erschien im Bulletin de l'Académie des sciences mathématiques et naturelles. Belgrade 1938.
19. *Astronomische Mittel zur Erforschung der erdgeschichtlichen Klimate.* (106 S.) Abschnitt VII des neunten Bandes des Gutenbergschen „Handbuches der Geophysik“. Berlin 1938.
20. Ein auf Veranlassung der Redaktion der „Meteorologischen Zeitschrift“ verfasstes Referat über die Schrift von R. Spitaler „Die Bestrahlung der Erde durch die Sonne und die Temperaturverhältnisse in der quartären Eiszeit“. — „Meteorologische Zeitschrift“ Heft 9. 1940.
21. **Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem.** (XX, 633. Seiten Quartformat) Editions spéciales de l'Académie royale serbe. 1941.
22. **Die Grundlagen der Himmelsmechanik.** (Serbisch 102 S.) Lehrbücher der Universität in Belgrad 1947. — Zweite Auflage 1954.
23. **Astronomische Theorie der Klimaschwankungen und ihre Anwendung in der Geophysik.** (Serbisch, 160 S.) Lehrbücher der Universität in Belgrad. 1948.
24. *Über den Anteil der exakten Wissenschaften an der Erforschung der geologischen Vorzeit.* (11 S.) Publications de l'Institut mathématique de l'Académie serbe des sciences, Tome VI. 1954.
25. *Sur le rôle des sciences exactes dans l'exploration des périodes géologiques.* (5 S.) Actes du IV Congrès International du Quaternaire. Roma 1956.
26. *Erforschung der Chronologie der Eiszeit.* (14 S.) Vortrag gehalten auf Einladung des Präsidenten der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und des Rektors der Universität in Wien im Auditorium maximum am 7. Juni 1955. „Archäologia Austriaca“ Heft 15/20. 1956.

VERZEICHNIS

der Schriften anderer Gelehrten über die Theorie des Verfassers der vorliegenden Abhandlung, insofern diese Schriften in seinen Besitz gekommen sind und in der Zentralbibliothek der Serbischen Akademie der Wissenschaften in einer besonderen Kollektion aufbewahrt werden.

Fettgedruckte Autorennamen und Anschriften für selbständige Werke. Unter dem Titel der betreffenden Schrift ist deren Inhalt kurz angegeben. Die zuletzt angeführte eingeklammerte Zahl gibt an wie viel mal der Name des Verfassers der vorliegenden Schrift in der betreffenden Abhandlung angeführt erscheint.

1. Köppen W. und Wegener A. Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin, Gebrüder Bornträger 1924.

In diesem Werke sind meine Strahlungskurven erstmalig veröffentlicht worden. Das in diesem Werke veröffentlichte, auf die geographische Breite von 65 Grad nördlich sich beziehende Strahlungsdiagramm ist in der vorliegenden Schrift auf der Seite 13 durch die Figur 2, oben wiedergegeben. In diesem Diagramm hat Köppen nicht nur die vier Penckschen Eiszeiten, Günz, Mindel, Riss und Würm, eingezeichnet gefunden, wie dies aus den hier mitgeteilten Figuren 1 und 3 ersichtlich ist, sondern auch die Gliederung

dieser Eiszeiten in einzelne Phasen, wie dies bald nachher durch die nachstehend unter 5 und 9 angeführten Arbeiten beglaubigt worden ist.

(17)

2. Köppen W. und Wegener A. *Die Klimate der geologischen Vorzeit*. „Die Umschau“ Jahrgang XXVIII, 1924.

Vortrag von Alfred Wegener gehalten am Kongress der Naturforscher und Ärzte in Insbruck den 25 September 1924.

(4)

3. Meinardus W., W. Köppen und A. Wegener. *Die Klimate der geologischen Vorzeit*. „Meteorologische Zeitschrift“ 1925.

Besprechung des unter 1. angeführten Werkes.

(3)

4. Schoenberg E. *Über die Temperaturen der Planeten*. „Physikalische Zeitschrift“ 1925.

Ausführliche Berichterstattung über meine Berechnung der Planetatmosphären und Hinweis auf deren Übereinstimmung mit den direkten Messungsergebnissen.

(4)

5. Soergel W. *Die Gliederung und absolute Zeitrechnung des Eiszeitalters*. „Fortschritte der Geologie und Paläontologie“ Heft 13. 1925.

Noch vor der Veröffentlichung meiner Strahlungskurven hat W. Soergel, die vorzeitlichen Terrassen der Ilm, Saale, Verra und Weser erforschend und als Zeugen der Klimaänderungen betrachtend, gefunden, dass ihre Anzahl eine viel grössere ist als es das von Penck entworfene Schema voraussetzt. Als er nachher meine, durch das Köppen-Wegenersche Werk veröffentlichten Strahlungskurven kennen lernte, fand er eine, in alle Einzelheiten gehende Übereinstimmung seiner Befunde mit meinen Strahlungskurven, wie dies aus der hier veröffentlichten Figur 4 ersichtlich ist.

(5)

6. Soergel W. *Das geologische Alter des Homo heidelbergensis* Paläontologische Zeitschrift. Bd. 10. 1928.

Mittels der Strahlungskurve wird das Alter dieses vorgeschichtlichen Menschen ermittelt.

(4)

7. Grahmann R. *Die absolute Zeitrechnung des Quartärs*. Sitzungsberichte der naturforschenden Gesellschaft zu Leipzig. 55. Jahrgang, 1928.

(9)

8. Grahmann R. *Über die Ausdehnung der Vereisungen Norddeutschlands und ihre Einordnung in die Strahlungskurven*. Berichte der mathematisch-physischen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig. Band LXXX. Sitzung vom 27 Februar 1928.

Mit Benützung von 46 Arbeiten anderer Forscher über die Vereisungen Norddeutschlands ordnet der Verfasser die einzelnen Phasen dieser Vereisung in die Strahlungskurve ein.

(4)

9. Eberl B. *Die Eiszeitenfolge im nördlichen Alpenvorlande. Ihr Ablauf und ihre Chronologie*. Augsburg, Felser, 1930.

Wie bereits berichtet, hat Eberl im Gebiet des Lechs und der Iller die Spure α der einstigen Gletscher erforscht und die Ergebnisse seiner Untersuchungen durch ein graphisches Diagramm veranschaulicht. Darüber berichtete er in der geologischen Vereinigung in München den 24 Januar 1924, also vor der Veröffentlichung meiner Strahlungskurven. Als diese im Oktober desselben Jahres ihre Veröffentlichung fanden, zeigte

sich ihre vollkommene Übereinstimmung mit dem Eberlschen Diagramm. Während aber diese Kurven nur bis zum 650-ten Jahrtausend von der Gegenwart reichten, wies das Eberlsche Diagramm noch einige ältere Kälteeinbrüche auf. Als ich, auf Eberls Wunsch, meine Strahlungskurven bis zu einer Million von Jahren vor der Gegenwart verlängerte, erschienen in denselben alle jene Eiszeitphasen, deren Spuren Eberl am Terrain entdeckt hatte.

(16)

10. Köppen W. *Neueres über Verlauf und Ursachen des europäischen Eiszeitalters*. Gerlands Beiträge zur Geophysik. Band 28. 1930.

Bericht über die Forschungen der Geologen, die von meinem Strahlungskurven Gebrauch gemacht hatten, Eberl, Soergel, Grahnmann, Gagel, Beurlen und Steinmann.

(16)

11. Eberl B. *Die Gliederung und Chronologie des alpinen Glazials im Bereich des Lech- und Illergletschers*. Forschungen und Fortschritte. 1931.

Der Verfasser teilt mit die Ergebnisse seiner Forschungen und ihre Übereinstimmung mit den Strahlungskurven.

(3)

12. Gams H. *Über einige Korrelationen und Altersbestimmungen im Nord-, Ost- und Mitteleuropäischen Quartär*. Ukrainian Academie of Sciences. Vol. I 1931.

Anwendung der Strahlungskurven bei paläobotanischen und mikrostratigraphischen Untersuchungen.

(6)

13. Götz P. *Der Lichthaushalt der Erde*, Zeitschrift für angewandte Meteorologie. 1931.

Anwendung meiner Theorie.

(4)

14. Köppen W. *Schwankungen der Sonnenstrahlung seit 135.000 Jahren*. Gerlands Beiträge zur Geophysik. Band 31. 1931.

Einige aus den Strahlungskurven sich ergebende Schlüsse.

(4)

15. Mügge R. *Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen von M. Milankovitch*. Meteorologische Zeitschrift 1930.

Besprechung des genannten Werke

(2)

16. Penck A. *Paläoklimatologie*. Geographische Zeitschrift. 1932.

Allgemeine Betrachtungen über die Frage der Klimaschwankungen.

(3)

17. Beck P. *Über das schweizerische und europäische Pliozän und Pleistozän*. Eclogae geologicae Helveticae. Vol. 26. 1933.

Sich auf die Strahlungskurven stützend, zieht der Verfasser den Schluss, dass das Pencksche Schema der vier Eiszeiten endgültig verlassen werden müsse.

(11)

18. Steiner L. *A jégkorszak csillagászati magyarázata*. Potfüzetek a természetudományi. Budapest 1933.

Leichtverständliche Wiedergabe meiner Theorie der Klimaschwankungen.

(10)

19. *Toepfer V. Die glazialen und postglazialen Schotterterrassen im mittleren Saaletal und ihre Stellung in der geologischen und astronomischen Gliederung des Eiszeitalters.* Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br. Band XXXII. 1933.

Gliederung und astronomische Datierung der erwähnten Terrassen auf Grund der Strahlungskurven.

(11)

20. *Wundt W. Änderungen der Erdaufbede während der Vorzeit.* Meteorologische Zeitschrift. 1933.

Untersuchungen des Reflexionsvermögens der Schneebedeckungen während der Eiszeiten.

(9)

21. *Grahmann R. Grundriss der Quartärgeologie Sachsens als Siedlungsraum der Menschen der Vorzeit.* Sonderdruck aus: Grundriss der Vorgeschichte Sachsens von W. Frenzel, W. Reinig und O. Reche. Leipzig 1934.

Der Verfasser legt seinen Untersuchungen die Strahlungskurven zugrunde.

(7)

22. *Grahmann R. Spät- und postglaziale Süßwasserbildungen in Regis-Breitingen und die Entwicklung der Urlandschaft in Westsachsen.* Mitteilungen aus dem Osterlande. Band XXII. 1934.

Untersuchungen über die vorzeitlichen Änderungen der Jahreszeiten und der Vegetation mit Benützung der Strahlungskurven.

(3)

23. *Wundt W. Die Lage der Kalmen.* Meteorologische Zeitschrift 1934.

Untersuchungen über die gestellte Frage mittels den Strahlungskurven.

(6)

24. *Gams H. Beiträge zur Mikrostratigraphie und Paläontologie des Pliozäns und Pleistozäns von Mittel- und Osteuropa und Westsibirien.* Eclogae geologicae Helvetiae. Vol. 28. 1935.

Seine Untersuchungen über das gestellte Problem fortsetzend, findet der Verfasser, dass die Strahlungskurven ein sehr brauchbares Hilfsmittel für dessen Lösung sind.

(2)

25. *Knauer J. Die Ablagerungen der alteren Würm-Eiszeit (Vorrückungs-Phase) im süddeutschen und norddeutschen Vereisungsgebiet.* Abhandlungen der Geologischen Landesuntersuchung am Bayerischen Oberbergamt. Heft 21. 1935.

Sich stützend auf die Veröffentlichungen von Eberl und auf die dort veröffentlichten Strahlungskurven, erforscht der Verfasser die letzten Phasen des Eiszeitalters.

(1)

26. *Köppen W. Vergleich zweier Eiszeiten-Theorien.* Gerlands Beiträge zur Geophysik. Band 43. 1935.

Vergleich meiner Eiszeitentheorie mit jener von Simpson und Nachweis der Überlegenheit der ersteren.

(7)

27. *Wundt W. Die astronomische Theorie der Eiszeiten und die auftretenden Nebenwirkungen.* Zeitschrift für Gletscherkunde Band XXII. 1935.

Eine ausführliche Besprechung meiner Theorie und ihrer Erfolge nebst einer Untersuchung der Nebenwirkungen.

(17)

28. *Wundt W. Die Klimate der Spät- und Nacheiszeit. Meteorologische Zeitschrift 1935.*

Untersuchung der erwähnten Erscheinungen, ausgehend von meinen Strahlungskurven.

(2)

29. *Zeuner F. E. The Pleistocene Chronology of Central Europe Geological Magazine. Vol. LXXII. 1935.*

Entwurf einer Chronologie des Pleistozäns im Zentral-Europa, ausgehend von meinen Strahlungskurven.

(11)

30. *Marchi L. Controverse glaciali. „Scientia“ Milano 1936.*

Allgemeine Besprechung der neueren Eiszeitentheorien und namentlich der meinigen.

(19)

31. **Schwinner R. Lehrbuch der physikalischen Geologie. Band I. Die Erde als Himmelskörper. Astronomie, Geophysik, Geologie in ihren Wechselbeziehungen. Berlin, Gebrüder Bornträger. 1936.**

Ausführliche Besprechung meiner Theorie der Klimaschwankungen und der Polverlagerungen.

(23)

32. *Scherf E. Versuch einer Einteilung des ungarischen Pleistozäns auf moderner polyglazialistischer Grundlage Verhandlungen der III. Internationalen Quartär-Konferenz. Wien 1936.*

Wie schon aus der Anschrift ersichtlich, legt der Verfasser seinen Untersuchungen meine Theorie zugrunde.

(2)

33. *Beck P. Vorläufige Mitteilung über die Revision des alpinen Quartärs. Eclogae geologicae Helvetiae. Vol. 30. 1937.*

Führt eine Revision des alpinen Quartärs auf Grund meiner Strahlungskurven durch.

(8)

34. *Beck P. Studien über das Quartärklima im Lichte astronomischer Berechnung. Eclogae geologicae Helvetiae. Vol. 30. 1937.*

Unter Zugrundelegung meiner Strahlungskurven untersucht der Verfasser die Bedingungen für das Vorrücken der Gletscher und für die Entstehung der Eiszeiten.

(15)

35. *Blanc A. C. Low levels of the mediterranean sea during the pleistocene glaciation. Quarterly Journal of the Geological Society of London. 1937.*

Der Verfasser untersucht mit Benützung der Strahlungskurven die Schwankungen des Meeresspiegels während des Eiszeitalters.

(5)

36. *Grahmann R. Die dritte Internationale Quartärkonferenz. Die Tagung in Wien. Zeitschrift für Gletscherkunde. 1937.*

Enthält den Bericht über die Vorträge von *Saemundsson* und *Scherf*, die von den Strahlungskurven Gebrauch machten.

(2)

37. *Grahmann R. Die Entwicklungsgeschichte des Kaspisees und des Schwarzen Meeres.* Mitteilungen der Gesellschaft für Gletscherkunde. Band 1937.

Untersucht mit Benützung der Strahlungskurven die Schwankungen des Spiegels des Kaspisees und des Schwarzen Meeres.

(2)

38. *Himpel K. Die Klimate der geologischen Vorzeit.* Astronomische Nachrichten. 1937.

Meine Theorie der Klimaschwankungen benützend, versucht der Verfasser das Klima der noch ferneren Vorzeit zu erklären.

(2)

39. *Lorenz H. Bau und Entwicklung des Erdballs.* Deutsches Museum. Abhandlungen und Berichte. München 1937.

Stimmt meiner Theorie der Klimaschwankungen zu.

(1)

40. *Reinig W. F. Die Holarktis. Ein Beitrag zur diluvialen und alluvialen Geschichte der zirkumpolaren Faunen- und Florengebiete.* Jena 1937.

In seinem Buche macht der Verfasser Gebrauch von meiner Theorie der Klimaschwankungen.

(13)

41. *Soergel W. Die Vereisungskurve.* Berlin, Gebrüder Bornträger. 1937.

Versuch mittels der Strahlungskurve die Vereisungskurve zu gewinnen, durch die die vorzeitlichen Schneebedeckungen der Erde dargestellt wären.

(27)

42. *Wolff E. Die geologischen und die land- und forstwirtschaftlichen Verhältnisse im Kreise Fallingb. mit einem Abriss der deutschen Vor- und Frühgeschichte.* Hannover 1937.

Seinen Untersuchungen legt der Verfasser die Strahlungskurve zugrunde.

(8)

43. *Wundt W. Die Lage des meteorologischen Aequators.* Meteorologische Zeitschrift. 1937.

Ausgehend von meiner Definition des kalorischen Aequators, d. h. jenes Breitenkreises, an dem die gleich langen kalorischen Halbjahre derselben Menge der Sonnenbestrahlung sich erfreuen und der nach meinen Berechnungen an der nördlichen Breite von $2^{\circ} 59' 48''$ gelegen ist, sucht der Verfasser jenen meteorologischen Aequator, der infolge der Luftströmungen und der Verteilung von Kontinent und Meer dieselben Mitteltemperaturen der beiden Jahreshälften aufweist. Derselbe liegt 2° nördlich des kalorischen Aequators.

(7)

44. *Zeuner F. E. Die Chronologie des Pleistozäns.* (Serbisch) Berichte der königlich Serbischen Akademie. 1937.

Mit Benützung der Strahlungskurven baut der Verfasser die Chronologie des Eiszeitalters auf, in die er auch die Chronologie der vorgeschichtlichen Kulturen einfügt.

(23)

45. *Antevs E. C. Climatic Variations during of the Last Glaciation in North America* Report of the American Committee of the International Commission of Climatic Variations, to the International Congress, Amsterdam, Holland, July, 1938.

Anwendung der Strahlungskurven auf die Erforschung der letzten Eiszeit in Nordamerika.

46. *Schubmann E. Mathematische Klimalehre, by M. Milankovitch.* Veröffentlicht in demselben Report wie die vorstehende Abhandlung.

Ausführliches Referat über mein Werk.

(10)

47. *Beck P. Studien über das Quartärklima im Lichte astronomischer Berechnungen (Schluss).* *Eclogae geologicae Helvetiae.* Vol. 31. 1938.

Mit ausgiebiger Benützung der Strahlungskurven beweist der Verfasser ihre Übereinstimmung mit den Befunden am Aaré-Gletscher.

(23)

48. *Beck P. Bericht über die ausserordentliche Frühjahrsversammlung der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft in Thun.* *Eclogae geologicae Helvetiae.* Vol. 31. 1938.

Die Teilnehmer der Versammlung haben eine Exkursion in der Umgebung von Thun gemacht und sich überzeugt, dass das Pencksche Schema der Gliederung der Eiszeiten nicht aufrecht erhalten werden kann.

(5)

49. *Himpel K. Die Klimate der geologischen Vorzeit und Zukunft.* *Zeitschrift für angewandte Meteorologie.* 55. Jahrgang. 1938.

Allgemeine Betrachtungen über die klimatischen Schwankungen während der Vorzeit und der Zukunft.

(3)

50. *Knauer J. Die Mindel-Eiszeit, die Zeit grösster diluvialer Vergletscherungen in Süddeutschland.* *Abhandlungen der Geologischen Landesuntersuchung am Bayerischen Oberbergamt.* 1938.

Der Verfasser stellt die vollkommene Übereinstimmung der untersuchten Vereisungen mit den Strahlungskurven fest.

(1)

51. *Penck A. Die Strahlungstheorie und die geologische Zeitrechnung.* *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.* 1938.

Der Verfasser stellt die Genauigkeit meiner Berechnungen der säkularen Änderungen der Erdbestrahlung fest, betrachtet sie als sehr wertvoll, ist aber der Meinung, dass sie nicht genügend mächtig gewesen sind, um die Eiszeiten hervorzurufen.

(58)

52. **Soergel W. Das Eiszeitalter. Nach einem Vortrag auf der Hochschulwoche der Universität Freiburg i. Br. Jena 1938.**

Ausführlicher Bericht über meine Theorie und deren Anwendung.

(24)

53. *Wundt W. Die astronomische Theorie der Eiszeitenalters.* *Naturwissenschaftliche Monatsschrift des Deutschen Naturvereines in Stuttgart* 1938.

Ausführliche Darstellung meiner Theorie.

(19)

54. *Wundt W. Das Reflexionsvermögen der Erde zur Eiszeit.* *Meteorologische Zeitschrift* 1938.

Untersuchungen wie gross das Reflexionsvermögen der Erde samt ihrer Atmosphäre während der Eiszeit gewesen ist.

(15)

55. Wundt W. *Die Verschiebung der Klimagürtel seit dem Ausklang der Eiszeit.* Petermanns Geographische Mitteilungen 1938.

Untersuchungen der erwähnten Erscheinung mit Heranziehung der Strahlungstheorie.

(3)

56. Wundt W. M. *Milankovitch, Neue Ergebnisse der astronomischen Theorie der Klimaschwankungen.* Meteorologische Zeitschrift 1938.

Ausführlicher Bericht und Besprechung meiner Abhandlung.

(14)

57. Zeuner F. E. *Die Chronologie des Pleistozäns.* Bulletin de l'Académie serbe des sciences. 1938.

Sich auf die Strahlungskurven stützend, baut der Verfasser die Chronologie des Pleistozäns auf, mit derselben auch die vorgeschichtlichen Kulturen umfassend. Ein reiches Register der einschlägigen Literatur von 111 Arbeiten ergänzt diese wertvolle Schrift.

(26)

58. Zeuner F. E. *The Chronology of the Pleistocene Sea-levels.* Annals and Magazine of Natural History. April 1938.

Mit Benützung der Strahlungskurven werden die Schwankungen des Meeresspiegels im Verlaufe der letztverflossenen 590.000 Jahre untersucht.

(8)

59. Bertsch Fr. *Herkunft und Entwicklung unserer Getreide.* Zeitschrift für deutsche Vorgeschichte „Manus“ 1939.

Darstellung und Benützung meiner Theorie.

(5)

60. Blanc A. C. *La curva di Milankovitch e la sua applicazione alla datazione assoluta dei Neandertaliani d'Italia.* Atti della Società Toscana di Scienze Naturali. Vol. XLVIV. 1939.

Besprechung und Anwendung meiner Theorie zur Beantwortung der gestellten Frage.

(49)

61. Penck A. *Eiszeit und Strahlungskurve.* „Forschungen und Fortschritte“. 1939.

Besprechung meiner Theorie, die der Verfasser als einen sehr wertvollen Kanon der Erdbestrahlung bezeichnet, aber die Ansicht ausspricht, dass die Eiszeiten durch Strahlungsänderungen der Sonne selbst hervorgerufen worden sind.

(9)

62. Sauramo Matti. *The mode of the land upheaval in Fennoscandia during late-
quaternary time.* Comptes Rendus de la Société géologique de Finland. Helsinki 1939.

Den Verlauf der Schwankungen der Bodenoberfläche während der letzten Eiszeit erforschend, findet der Verfasser, dass diese Erscheinung im Einklang steht mit meinen Strahlungskurven.

(3)

63. Soergel W. **Das diluviale System. I. Die geologischen Grundlagen der Vollgliederung des Eiszeitalters.** Fortschritte der Geologie und Paläontologie. Band XII. Gebrüder Borntraeger, Berlin 1939.

Auf Grund der Strahlungskurven durchgeführte Vollgliederung des Eiszeitalters,

(8)

64. Wundt W. *Klimaänderungen in der Nacheiszeit*. „Forschungen und Fortschritte“. 1939.

Beantwortung des gestellten Problems mit Benützung der Strahlungskurven.

(3)

65. Wundt W. *Der Energiehaushalt der Erde im Lauf des Jahres und in der Erdgeschichte*. Meteorologische Zeitschrift 1939.

Erforschung des Umsatzes und der Aufspeicherung der Energie im Lauf des Jahres und der Vorzeit.

(3)

66. Bacskák G. *Az interglaciális korszakok értelmezete — Zur Erklärung der Interglazialzeiten*. Budapest. Az időjárás. 1940.

Die Abhandlung ist in der ungarischen und in der deutschen Sprache veröffentlicht. Als eine wertvolle Ergänzung meiner Theorie ist eine sehr gelungene Klassifizierung der Interglazialzeiten zu betrachten.

(44)

67. Köppen W. *Ergänzungen und Berichtigungen zu W. Köppen und A. Wegener: Die Klimate der geologischen Vorzeit*. Berlin, Gebrüder Borntraeger 1940.

Fünfzehn Jahre nach der Veröffentlichung des in Gemeinschaft mit Alfred Wegener verfassten Werkes, teilt Köppen alle Fortschritte die im denselben Wissensgebiete in der Zwischenzeit erzielt worden sind.

(23)

68. Soergel W. *Die als Pseudopariser bekannte Einlagerung im Travertinprofil von Ehringsdorf bei Weimar*. Beiträge zur Geologie von Thüringen, Band V. 1940.

Mittels der Strahlungskurven wird das Alter der erwähnten Einlagerung ermittelt.

(3)

69. Trevisan L. *I limiti nivali attuali e wurminiani in Italia in rapporto alla temperatura e alla quantità di precipitazioni, con ipotesi sui fattori che determinarono la glaciazione wurminiana*. Bolletino del Comitato Glaciologico Italiano. 1940.

Behandelt das gestellte Problem mit Benützung der Strahlungskurven.

(8)

70. Wundt W. *Für und Wider bei der astronomischen Theorie der Eiszeiten*. Meteorologische Zeitschrift 1941.

Der Verfasser führt an und widerlegt die Einwände gegen die astronomische Theorie der Eiszeiten mit dem Hinweis, dass sie die tellurischen Nebeneinflüsse auf den Gang der Erscheinungen nicht umfassen könne.

(19)

71. Bacskák G. *A skandináv eljegesedés hatása a periglaciális övön. — Die Wirkung der skandinavischen Vereisung auf die Periglazialzone*. Kgl. ung. Reichsanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus. 1942.

Die Abhandlung enthält den ungarischen Originaltext und die deutsche Übersetzung. Behandelt gründlich und eingehend das gestellte Problem, sich dabei der Strahlungskurven bedienend.

(46)

72. Blanc A. G. *La correlazione geocronologica tra i paleontropi di Saccopastore e del Circeo e la loro posizione in una curva dell' elevazione dell' uomo*. Bol. Soc. Geol. de Portugal, 1942.

Sich der Strahlungskurven bedienend, ermittelt der Verfasser das Alter der Paläontropen von Saccopastore und von Circeo mit 130.000 bzw. 70.000 Jahren.

(4)

73. *Tongiorgi E. e Trevisan L. Un falso postulato di paleoclimatologia del Quaternario: la corrispondenza tra periodi glaciali et periodi pluviali.* Atti della Societa Toscana di Scienze Naturali. Processi Verbali. Vol. LI. 1942.

Bei der Behandlung der gestellten Frage bedienen sich die Verfasser der Strahlungskurven.

(13)

74. *Wundt W. Das solare und das wirkliche Klima in der Eiszeit.* „Forschungen und Fortschritte“ 1942.

Der Verfasser behandelt die gestellte Frage im Zusammenhang mit meiner Theorie.

(3)

75. *Arambourg C. La genèse de l'humanité.* Presses Universitaires, Paris 1943.

Der Verfasser teilt meine Strahlungskurven mit und benützt sie zur Datierung der Entwicklungsstadien des Menschenschlechtes.

(3)

76. *Baczák G. Az utolsó 600.000 év földtörténete. — Die Erdgeschichte der letztverflossenen 600.000 Jahre.* A. M. Kir. Földtani Intézet, Budapest 1943.

Ausführliche Berichterstattung über meine Theorie der Klimaschwankungen und Versuch einer Erklärung des Fehlens der Eiszeiten vor dem Quartär.

(64)

77. *Wundt W. M. Milankovitch, Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem.* Meteorologische Zeitschrift 1944.

Ausführliche Inhaltsangabe und Besprechung meines Hauptwerkes.

(14)

Im Jahre 1944 unternahm die Geologische Vereinigung unter Redaktion von Carl Troll ein besonderes Heft ihrer „Geologischen Rundschau“ herauszugeben, das ausschliesslich dem Klima der Vorzeit gewidmet sein soll. Das Heft führt den Titel „Diluvial-Geologie und Klima“. Band 34. 1944.

Von den darin veröffentlichten Artikeln befassen sich eingehend mit meiner Theorie die drei folgenden, über die vorstehend bereits ausführlich berichtet worden ist.

78. *Troll C. Diluvialgeologie und Klima.*

(5)

79. *Wundt W. Die Mitwirkung der Erdbahnelemente bei der Entstehung der Eiszeiten.*

(38)

80. *Meinardus W. Zum Kanon der Erdbestrahlung.*

(28)

81. *Zeuner F. E. Dating the past. An introduction to Geochronology.* London 1946.

In diesem 472 Seiten umfassenden Werk findet sich eine aussgiebige Benützung meiner Strahlungstheorie.

(16)

82. *Antevs E. The Pleistocene Period: Its Climate, Chronology and Faunal Succession.* By Frederik Zeuner. The journal of geology. Vol. LV. 1947.

Besprechung des vorstehend angeführten Werkes von Zeuner und damit auch meiner Theorie.

(10)

83. *Venzo S. La serie quaternaria dell' apparato morenico dell' Adda di Lecco comparata col diagramma di Milankovitch: cenno alla storia geomorfologica.* Bolletino della Società Geologica Italiana. Vol. LXVI. 1947.

Dem Verfasser ist es gelungen am Südrande der Alpen Spuren von Vereisungen zu entdecken, die vor der ersten Penckschen Eiszeit stattgefunden haben und die in meinen Strahlungskurven eingezeichnet waren.

(15)

84. *Venzo S. Rilevamento geomorfologico dell' Adda di Lecco.* Atti della Società Italiana di Scienze Naturali. Vol. LXXXVII. 1948.

Benützung der Strahlungskurven für die Ausarbeitung einer geomorphologischen Karte der in der erforschten Gegend entdeckten einstigen Vereisungen und der Feststellung ihrer zeitlichen Folgen.

(25)

85. *Wundt W. Eiszeiten und Warmzeiten in der Erdgeschichte.* Deutscher Geographentag. München 1948.

Über die Anwendung der Strahlungskurven auf das gestellte Problem.

(2)

86. *Landsberg H. Climatology of the pleistocene.* Bulletin of the Geological Society of America. Vol. 60. 1948.

Enthält einen Bericht über die Strahlungskurven.

(7)

87. **Jacob - Friesen K. H. Die Altsteinzeitfunde aus dem Leinetal bei Hannover. Hildesheim 1949.**

Bestimmung des Alters der entdeckten Artefakte der Alten Steinzeit mit Hilfe der Strahlungskurven.

(13)

88. *Riva A. Saggio di rilevamento del morenico e dei terreni quaternari in genere tra il Canturino e la Brianza occidentale.* Atti dell' Istituto Geologico della Università di Pavia. Vol. III 1949.

Der Verfasser benützt, wie er sich ausdrückt, meine schöne Theorie bei seinen Untersuchungen.

(4)

89. *Venzo S. Revisione del glaciale nelle Bassa Val Cavatina (Bergamo), Distinzione del Mindel e dei terrazzi anaglaciali: parallelismi colla Francia, Svizzera, Germania-Austria colla curva di Milankovitch e coi livelli marini padani.* Atti della Società Italiana di Scienze Navali. Vol. LXXXVIII. 1949.

Die ausführliche Überschrift gibt den Inhalt der Abhandlung wieder.

(51)

90. *Venzo S. Risposta al commento Riva sulla mia carta geomorfologica dell' apparato morenico dell' Adda. Osservazioni sulla carta geomorfologica tra il Canturino e la Brianza occidentale 1949 del Dott. Arturo Riva.* Bolletino della Società Geologica Italiana. Vol. LXVIII 1949.

Antwort auf die Einwendungen Arturo Rivas zu seiner unter 83 angeführten Abhandlung.

(5)

91. **Accademia Nazionale dei Lincei. Le epoche glaciali. Relazioni e discussione. Adunanze 8 e 9 aprile 1949.** Roma 1950.

Die Römische Akademie der Wissenschaften hat zwei Sitzungen abgehalten, in denen ausschliesslich über das Problem der Eiszeiten verhandelt worden ist. An der Discussion nahmen teil: G. Castelnovo, R. Fabiani, G. Armelini, M. Cimino, F. Vercelli, S. Somigliana, A. Chianuci, S. Sergi, E. Tongiorgi und M. Vanni. Der Hauptgegenstand der Verhandlung war meine Theorie der Eiszeiten, die wie bereits berichtet, einen schönen Erfolg gehabt hat.

(57)

92. **Lona F. Contributi alla storia della vegetazione e del clima nella Val padana. — Analisi pollinica del giacimento villafranchiano di Ieffe (Bergamo).** Atti della Società Italiana di Scienze Naturali. Vol. LXXXIX. 1950.

Der Verfasser erforscht die Geschichte der Vegetation und des Klimas in der angegebenen Gegend, sich dabei auch der Strahlungskurven bedienend.

(4)

93. **Venzo S. Rinvenimento di *Anacus arvenensis* nel villafranchiano dell' *Adda di Paderno*, di *Archidiskodon meridionalis* e *Cervus a Ieffe*. *Stratigraphia e clima del Villafranchiano Bergamense*. Atti della Società di Scienze Naturali. Vol. LXXXIX. 1950.**

Der Verfasser untersucht die Stratigraphie und das Klima der erforschten Gegend, sich dabei auch der Strahlungskurven bedienend.

(14)

94. **Wundt W. Neue Erörterungen zu den Ursachen der Eiszeit.** Meteorologische Rundschau. 1950.

Untersuchungen der Nebeneinflüsse bei der Entstehung der Eiszeiten.

(3)

95. **Zeuner F. E. Dating the Past. An Introduction to Geochronology. Second edition, revised and enlarged.** London 1950.

In dieser zweiten Auflage seines Werkes macht der Verfasser einen noch ausgiebigeren Gebrauch von meine Strahlungskurven.

(28)

96. **De Vaucouleurs G. Physique de la planète Mars. Paris 1951.**

Der Verfasser verwendet ausgiebig meine Theorie und meine Berechnungen der Temperaturen der Marsoberfläche.

(18)

97. **Wundt W. Die Eisbilanzkurve und Gliederung der Eiszeit. „Quartär“ 1952.** Besprechung der von Soergel aus der Strahlungskurve abgeleiteten Vereisungskurve.

(7)

98. **Grahmann R. Das Eiszeitalter und der Übergang zur Gegenwart.** Remagen. Verlag des Amtes für Länderkunde 1952.

Der Verfasser untersucht den Übergang der Eiszeit in das historische Zeitalter sich dabei meiner Strahlungskurven und der Theorie der Polverlagerungen bedienend.

(12)

99. **Somigliana C. Applications géophysiques de la mécanique céleste. „Scientia“ 1952.**

Die gelungenste leichtverständliche Darstellung meiner Theorie. Die Kompetenz des Referenten rührt davon her, dass er Professor der Theoretischen Physik an der Universität in Turin gewesen ist und über alle zum Verständnis meiner Theorie erforderlichen Kenntnisse verfügte.

(22)

100. *Somigliana C. Clima matematico e Paleoclimatologia. Estrato dai Rendiconti del Seminario Matematico e Fisico di Milano. Vol. XXIII. 1952.*

Nachdem der Verfasser in seiner soeben angeführten Abhandlung meine Theorie allgemeinverständlich dargestellt hat, gibt er sie hier wieder mit Verwendung des mathematischen Apparats.

(25)

101. *Grahmann R. Urgeschichte der Menschheit. Einführung in die Abstammungs- und Kulturgeschichte des Menschen. Stuttgart. 1952.*

In seinem umfangreichen und ausgezeichneten Werke bedient sich der Verfasser der Strahlungskurven zur Zeitbestimmung der menschlichen Rassen und Kulturen.

(14)

102. *Venzo S. Stadi delle glacione del „Donau“ sotto al Günz nelle serie lacustre di Leffe (Bergamo — Lombardia). Geologica Bavarica. München 1953.*

Der Verfasser entdeckt am Südrande der Alpen Spuren von Vereisungen, die vor der ältesten Günz-Eiszeit des Penckschen Schemas abgelagert worden sind und bekräftigt damit die Ergebnisse der Forschungen von Eberl, über die hier bereits ausführlich berichtet wurde.

(9)

103. *Baczák G. Pliozän und Pleistozänzeitalter im Licht der Himmelsmechanik. Acta geologica. Budapest 1955.*

Der Verfasser führt eine sehr gelungene Typisierung der Eiszeiten in glaziale, antiglaziale, tropische, subtropische und subarktische durch und behandelt auch die Frage, wie das Fehlen der Eiszeiten vor dem Quartär zu erklären wäre.

(52)

104. *Krivan P. Die klimatische Gliederung des mitteleuropäischen Pleistozäns. Acta geologica. Budapest 1955.*

Eine wertvolle Fortsetzung und Ergänzung der vorstehenden Arbeit von Baczák.

(55)

105. *Emiliani C. Pleistocene temperatures. Journal of Geology. 1955.*

Der Verfasser macht Mitteilung von einer Neuberechnung der Strahlungskurven die Brouwer und Woerkom durchgeführt hatten unter Zugrundelegung der neuesten Angaben über die Massen der Planeten. Er stellt fest, dass die Ergebnisse dieser Berechnungen sich nur wenig unterscheiden von jenen, die ich, mich auf die Berechnungen von Pilgrim und Mischkovitch stützend, durchgeführt habe.

(4)

106. *German R. Über die Gliederung und Chronologie des Pleistozäns. Actes du IV Congrès du Quaternaire. Rome 1956.*

Der Verfasser weist hin auf die Übereinstimmung der geologischen Befunde mit meinen Strahlungskurven.

(12)

107. *Lahner G. Astronomische und mathematische Nachweise der Eiszeit. „Mitteilungen für Erdkundé. 1957.*

Eine sehr gelungene, leichtverständliche Darstellung meiner Theorie und ihrer Anwendungen.

(38)