

4757 40

FORSCHUNGEN UND FORTSCHRITTE

Nachrichtenblatt der
Deutschen Wissenschaft
und Technik

Gegründet und mit Unterstützung der deut-
schen wissenschaftlichen Körperschaften
herausgegeben von KARL KERKHOFF

Erscheint monatlich dreimal. Vierteljährlicher Bezugspreis RM 3,— (einseitig bedruckt RM 5,—) zuzügl. Postgebühren. Bestellungen sind zu richten an „Forschungen und Fortschritte“, Berlin NW 7, Unter den Linden 8 (Fernruf: 16 04 34; Postscheckkonto: Berlin 19470; Bankkonto: Deutsche Bank, Berlin, Mauerstraße 26/27), aus dem Buchhandel an den Kommissionsverlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig. — Der Nachdruck von Artikeln ist, auch auszugsweise, nur mit Quellenangabe gestattet.

15. JAHRGANG

BERLIN, 20. FEBRUAR 1939

N.R. 6

Inhaltsverzeichnis:

Noll, Dr. Rudolf, Wien. Ein neuer Dolichenusfund	73	Fries, Prof. Dr. Karl, Berlin. Indisches in der griechischen Philosophie	76	Holdhaus, Dr. Karl, Wien. Verschiedenartige Verbreitungsbilder unter den borealpinen Insekten Europas	81
Sering, Prof. Dr. Max, Berlin. Geschichtliche Grundlinien auslandsdeutscher Siedlung in Osteuropa	74	Penck, Prof. Dr. Albrecht, Berlin. Eiszeit und Strahlungskurve	78	Fischer-Wasels, Prof. Dr. Bernhard, Frankfurt a. M. Die Bedeutung des Erblichkeitsfaktors in der Geschwulstentwicklung	83
Winter, Prof. Dr. Eduard, Prag. Der Jansenismus im Sudetenraum	75	Ramsauer, Dr. Rembert, Kaiserslautern. Vom Quecksilberbergbau in der Pfalz	79	Personalmeldungen	84

Eiszeit und Strahlungskurve

Von Prof. Dr. Albrecht Penck, Universität Berlin

Aus der Periode grimmiger Kälte, die Goethe in Wilhelm Meisters Wanderjahren erwähnt, aus der Eiszeit, von der Karl Schimper gesprochen und die Louis Agassiz gelehrt hat, ist im Laufe eines Jahrhunderts ein Eiszeitalter geworden, dessen Spuren über die ganze Erde in Form von wiederholten Vergletscherungen verfolgt worden sind. Diese allerdings haben nur in den höheren Breiten ganze Länder betroffen, machen sich aber sonst auf allen höheren Gebirgen bis in die Tropen hinein geltend als Zeugen einer kälteren Zeit. Daß es sich dabei im wesentlichen um gleichzeitige Erscheinungen handelt, erweist der Meeresspiegel: Er schwankt entsprechend den Vergletscherungen. Er sinkt während der Eiszeiten und steigt während der Interglazialzeiten an, seine Lage ändert sich mit dem Klima. Das Eiszeitalter ist eine Periode großer, die ganze Erde betreffender Klimaschwankungen. Gelingt es, dieselbe auf berechenbare astronomische Ursachen zurückzuführen, so ist die Möglichkeit gegeben, eine exakte Chronologie in die Erdgeschichte einzuführen. Einschlägige Versuche sind schon wiederholt gemacht. Keiner hat in jüngster Zeit mehr die Aufmerksamkeit erweckt als der des serbischen Geophysikers M. Milankovitch. Er untersuchte in systematischer Weise den Einfluß, welchen der Wechsel in den Elementen der Erdbahn auf die Bestrahlung der Erdoberfläche ausübt, und stellte die Wirkung durch Diagramme dar; er sprach von einer Strahlungskurve. Von letzter ist in der neuesten Literatur vielfach die Rede, aber nicht immer in einer solchen Weise, die tieferes Verständnis verrät. Es sei daher kurz auseinandergesetzt, worin ihre Bedeutung besteht.

Zwei Gruppen von astronomischen Ursachen können das irdische Klima beeinflussen: die Wanderung des Frühlingspunktes mitsamt dem Wechsel in der Exzentrizität der Erdbahn sowie der Wechsel in der Schiefe der Ekliptik. Jene Wanderung bewirkt eine stetige Änderung in der Lage des Perihels, wofür der Frühlingspunkt den Ausgang bildet. Ist diese Länge gleich Null, fallen Frühlingspunkt und Sonnennähe zusammen, so sind Sommer- und Winterhalbjahr auf der ganzen Erde einander gleich. Wenn nun die Länge des Perihels wächst, so werden sie verschieden lang und erhalten in gleichen Zeiten verschiedene Wärmesummen. Ist die Länge 90° geworden, so sinkt auf der nördlichen Halbkugel die sommerliche Bestrahlung auf ein Minimum, die winterliche steigt auf ein Maximum, die jahreszeitlichen Gegensätze sind abgeschwächt. Auf der Südhalbkugel ist es gerade umgekehrt: Die sommer-

liche Bestrahlung steigt auf ein Maximum, die winterliche sinkt auf ein Minimum, die jahreszeitlichen Unterschiede werden verstärkt. Bei einer Länge von 180° liegen die Dinge wieder ebenso wie bei einer solchen von 0°. Hat die Länge 270° erreicht, so liegen die Dinge umgekehrt wie bei 90°, dann ist auf der Nordhalbkugel die Jahresschwankung verstärkt, auf der Südhalbkugel ist sie abgeschwächt. Innerhalb von 21 000 Jahren haben wir also eine regelmäßige Folge von Klimaänderungen, die für beide Halbkugeln gegensätzlich sind. Es schwächt sich auf der Nordhalbkugel die Jahresschwankung zunächst ab, erreicht wieder ihren Normalwert, wächst an und kehrt zu ihrem Normalwert wieder zurück. In der Gegenwart wird die Jahresschwankung stark durch die Verteilung von Wasser und Land beeinflusst; sie ist im ozeanischen Klima geringer als im kontinentalen. So wird es auch in der Vergangenheit gewesen sein, aber Ozeanität und Kontinentalität werden Verschärfungen und Abschwächungen erfahren haben, die besonders groß dann gewesen sein werden, wenn die Exzentrizität der Erdbahn groß war. Aber weder verschärftes noch abgeschwächtes ozeanisches, noch ebenso verändertes kontinentales Klima bieten die Voraussetzungen für eine Kälteperiode, wie sie durch eine Eiszeit gegeben ist. Auch ist zu beachten, daß der Äquator an dem gegensätzlichen Verhalten der beiden Halbkugeln nicht teilnehmen kann, sich also neutral verhalten sollte. Dennoch bietet er Spuren der Eiszeit. Das könnte auch nicht der Fall sein, falls sich dieselbe auf eine Vergrößerung der Exzentrizität der Erdbahn zurückführen sollte.

Das war die Annahme von James Croll. Dessen Theorie über die Ursachen der Eiszeit und seine Chronologie nicht nur des Eiszeitalters, sondern auch der Tertiärperiode sind nicht zutreffend. Sie nehmen nicht weiter Bezug auf jene Klimaschwankungen, welche durch Änderungen in der Schiefe der Ekliptik hervorgerufen werden. Alle rund 40 000 Jahre wird dieselbe für etwa 25 000 Jahre der Rechnung nach geringer als heute. Dann werden die höheren Breiten weniger stark bestrahlt als die niederen, sie werden kälter, jene wärmer, aber die Beträge, die dafür auch von R. Spitaler¹⁾ errechnet worden sind, sind nicht gerade bedeutend und reichen nicht hin, ein allgemeines Kälterwerden des Klimas zu erklären, wie es gerade die Vergletscherungen der mittleren Breiten erheischen. Der 45. Breitenparallel ist ziemlich genau die Grenze zwischen den kälter und wärmer werdenden Zonen. In seiner Nähe aber liegen die großen Vergletscherungen der Alpen und des Felsengebirges, der Südinsel von Neuseeland und der

¹⁾ Forsch. u. Fortschr. 10 (1934) 310, 323.

Cordilleren Südamerikas. Durch die wechselnde Schiefe der Ekliptik kann ebensowenig wie durch die wechselnde Exzentrizität der Erdbahn eine Eiszeit erklärt werden. Es fragt sich nur, ob dies durch das Zusammenwirken beider Ursachen geschehen kann.

In letzter Hinsicht liegt die Bedeutung der Untersuchungen von Milankovitch. In mühevoller Weise hat er berechnet, wie sich die Bestrahlung ausgewählter Parallele der gemäßigten Zone zwischen 25° und 75° , also bis an die Tropen und bis in das Polargebiet hinein, während gleichlang angenommener Sommer- und Winterhalbjahre unter dem Einflusse wechselnder Exzentrizität der Erdbahn und wechselnder Länge des Perihels sowie wechselnder Schiefe der Ekliptik gestaltet. Die Ergebnisse teilt er für alle 5000 Jahre sowie auch für alle Perihellängen von 90° und 270° für den Zeitraum von 600 000 Jahren vor 1800 mit. Damit liefert er einen äußerst wertvollen Kanon der Bestrahlung der Erde während der jüngsten geologischen Vergangenheit, in die das Eiszeitalter fällt. Für einzelne Jahre hat er sehr geringe sommerliche Bestrahlung der Nordhemisphäre nachgewiesen. Milankovitch nimmt an, daß an sie sich Eiszeiten knüpfen, weil kühle Sommer das Wachstum von Gletschern begünstigten. Das trifft aber nicht allgemein zu; das Wachsen der Gletscher steht nicht bloß im Zeichen des Schmelzens der Zunge, sondern hängt wesentlich von der Ernährung des Firnfeldes ab, die durch die Temperaturverhältnisse ganzer Jahre bestimmt ist. Eiszeitliche Gletscherspuren an Stellen, wo heute die Temperatur jahraus, jahrein sich über 0° hält, erweisen zudem, daß sich in der Eiszeit gleich der Sommertemperatur auch die Wintertemperatur gesenkt haben muß, denn ohne eine solche unter 0° gibt es keine Firnbildung und keine Gletscher. Milankovitchs Folgerungen beruhen also auf einer irrtümlichen Annahme und tragen dem wichtigsten Ergebnisse der auf physiogeographischer Grundlage durchgeführten Eiszeitforschung der letzten Jahrzehnte nicht Rechnung, nämlich daß die Eiszeiten allgemeine Kältezeiten gewesen sind. Seine Strahlungskurve gilt nur für ein Sommerhalbjahr der Nordhemisphäre. Für allgemeine Klimaänderungen kann aber nur der Wechsel der Bestrahlung des ganzen Jahres in Betracht kommen. Deren Betrag erhält man, wenn man die Strahlungszahlen für Sommer und Winter von M. Milankovitch addiert. Dann wird man gewahr, daß gleiche Parallele beider Halbkugeln stets gleiche Bestrahlung bekommen, die sich im Laufe der Jahre ändert. Dies geschieht in Abhängigkeit von der Schiefe der Ekliptik. Letztere ist es, welche den Temperaturwechsel von Jahr zu Jahr in den einzelnen Breiten bestimmt; der Einfluß der verschiedenen Perihellagen der Erdbahn offenbart sich nur in den Temperaturen der Jahreszeiten, nicht in denen des Jahres.

Die für das ganze Jahr gültigen Strahlungskurven einzelner Breiten sehen wesentlich anders aus als die des Sommers. In breiteren Wellen bewegen sie sich auf und ab, entsprechend einer Periode von rund 40 000 Jahren. Die Mittellinie ist ziemlich genau 45° , den Wellenbergen für die höheren Breiten entsprechen weniger tiefe Wellentäler in den niederen. Man sieht deutlich, wie sowohl die höheren Breiten als auch die niederen kälter und wärmer werden, aber nicht gleichzeitig, sondern abwechselnd. Daß dann, wenn die höheren Breiten kälter werden, deren Gletscher anwachsen, liegt auf der Hand, aber um viel kann es sich nicht handeln; rechnerisch kommen nur wenige Grade in Betracht. In allen Fällen jedoch bleibt der Parallel von 45° von den Klimaänderungen verschont. Gerade aber unter ihm befinden sich, wie schon erwähnt, bedeutende Vergleicherungen und ist die Herabdrückung der eiszeitlichen Schneegrenze in Europa eine so bedeutende, daß auf eine allgemeine Temperaturerniedrigung von 8° geschlossen werden muß. Für ein gleichzeitiges Kälterwerden der gesamten Erdoberfläche, auf das wir aus der Allgemeinheit der Vergleicherungen schließen müssen, gibt keine Strahlungskurve Anhalt. Das ist das wichtigste Ergebnis der Berechnungen von Milankovitch, daß die Änderungen in den Elementen der Erdbahn die Klimaschwankungen des Eiszeitalters nicht zu erklären vermögen. Dieselben sind nicht in der Verteilung der Strahlung auf der Erdoberfläche, sondern im Wechsel der Bestrahlung selbst begründet.

Milankovitch stützt seine Annahme, daß den von ihm nachgewiesenen Zeiten mit kühlen Sommern Gletschervorstöße entsprechen, die in Eiszeiten fallen, durch die Wahrnehmung, daß durch zwei Zeiten von 60 000 und 190 000 Jahren hindurch solche gefehlt haben. Diese Zahlen stimmen mit denen annähernd überein, die nach meiner Schätzung den letzten beiden Interglazialzeiten in den Alpen zukommen, nämlich 60 000 und 240 000 Jahre. Er steht deswegen nicht an, die beiden Vorstoßpausen mit der Riss-Würm- und Mindel-Riss-Eiszeit den Alpen gleichzusetzen und dadurch die beiden letzten Eiszeiten chronologisch festzulegen. Das hat vielfach Beifall gefunden. Drei Vorstöße sollen in die Würm-Eiszeit, zwei in die Riss-Eiszeit gehören. Aber deren Dauer ist nach der ungefähren Zahl der Jahre mit kühlen Sommern bemessen so kurz, nämlich nur je 5000 bis 10 000 Jahre. Darnach würden höchstens 50 000 Jahre mit kühlen Sommern auf die 250 Jahre kommen, die den beiden Eiszeiten zugeschrieben werden. In kaum dem fünften Teil von deren Dauer wären sie wirksam. Auch sonst passen die Ereignisse der Eiszeitforschung nicht in die Strahlungskurve, und die aus letzterer erschlossene Feingliederung des Eiszeitalters läßt sich in den Alpen nicht nachweisen, wie ich kürzlich dargetan habe²⁾. Der geologischen Chronologie wird durch die Berechnungen von Milankovitch keine astronomische Grundlage gewährt, und die Angabe Soergels, daß der Unterkiefer von Mauer ein Alter von 530 000 Jahren habe ist nicht begründet. Dessen Alter läßt sich nur in weiten Umrissen schätzen. Dabei kommen wir allerdings auch auf Jahrhunderttausende, aber deren Zahl kennen wir noch nicht.

Die Bedeutung der Strahlungskurve liegt in anderer Richtung als von Milankovitch angenommen. Sie weist auf Veränderungen in der jahreszeitlichen Temperaturverteilung auf der Erde, die sich bisher der Beachtung entzogen haben. Wir haben es in den gemäßigten Zonen beider Hemisphären mit einem regelmäßigen Wechsel zwischen Zeiten mit größerer und solchen mit geringerer Jahresschwankung zu tun. Die Größe der Jahresschwankung haben wir bisher als ein Maß für die Kontinentalität angesehen. Das gilt nicht in vollem Umfange. Neben dem ozeanischen und kontinentalen Klima erheischt die Theorie das Vorhandensein von Zeiten mit gemildeter und verstärkter Jahresschwankung als Folge der Wanderung des Perihels. Die eine Halbkugel hat das eine, die andere hat das andere. Nach 10 500 Jahren ist es umgekehrt. Nur in den Zwischenzeiten, wenn die Perihellänge 0° oder 180° ist, sind beide Halbkugeln gleichgestellt. Es liegt nahe, die gegenwärtigen Zustände unter diesem Gesichtspunkte zu betrachten, wo der Sommer der Nordhemisphäre in das Aphel fällt. Auf ihr hätten wir eine größere Jahresschwankung zu erwarten als auf der südlichen. Aber das Gegenteil ist der Fall: Die Jahresschwankung der nördlichen Halbkugel ist ebenso wie deren mittlere Temperatur größer als die der südlichen. Darin kommt bekanntlich zum Ausdruck, daß auf ihr die Landfläche größer ist als auf der anderen. Der Einfluß der Verteilung von Wasser und Land auf die Jahresschwankung der Temperatur ist gegenwärtig wenigstens größer als der der wechselnden Länge des Perihels. Deswegen jedoch dürfen wir diesen nicht ganz außer acht lassen. Er schwächt jenen ab oder verstärkt ihn. Das haben wir ins Auge zu fassen, wenn wir den Blick auf die Vergangenheit richten. Alle 10 500 Jahre ist mit einem Wechsel in der Verstärkung und Abschwächung der Jahresschwankung zu rechnen. Die Schwankung zwischen beiden wächst mit der Größe der Exzentrizität der Erdbahn, kann also recht ansehnlich werden. Zugleich ändert sich die Form der Jahreskurve der Temperatur. Wir bekommen lange kühle und kurze warme Jahreszeiten und umgekehrt. Eiszeiten können dabei nicht entstehen, aber in der Wasserführung der Flüsse und in der Vegetationsverhältnissen wird es sich spürbar machen. Manches, was man mit den eiszeitlichen Klimaschwankungen in Beziehung gebracht hat, wie z. B. Pluvialzeiten, hängt möglicherweise mit den Änderungen in den Temperaturverhältnissen innerhalb eines Jahres zusammen, die durch die Wanderung des Perihels bedingt wird.

²⁾ Die Strahlungstheorie und die geologische Zeitrechnung. Vortrag in der Gesellschaft für Erdkunde Berlin, 30. Mai 1938. Vgl. dazu deren Zeitschrift 1938, S. 321.