

## Die Klimakurve des Tertiärs und Quartärs in Mitteleuropa

Von Paul Woldstedt, Bonn. Mit 1 Abb. im Text

**Zusammenfassung.** Die Temperaturen Mitteleuropas, die im älteren Tertiär um etwa 20° C liegen, sinken im Laufe des Tertiärs ganz allmählich, um mit Beginn des Eiszeitalters denen der Gegenwart nahezu kommen. Das Quartär ist durch kurze starke Schwankungen gekennzeichnet. Als Ursache kommen wohl zwei Hauptfaktoren in Frage: Zunahme des Reliefs der Erde und Schwankungen der Sonnenenergie (im ultravioletten Spektralbereich). Für die extremen Temperaturschwankungen des Quartärs in den mittleren Breiten spielen die polaren Eiskappen eine wichtige Rolle.

**Abstract.** The mean temperature of Middle Europe — about 20° C in Lower Tertiary times — decreases slowly during the Tertiary to about 10° C. The Quaternary Ice Age is marked by extreme fluctuations, in Middle Europe of more than 12° C. It seems that two main factors are responsible: the increase in the average height of the continents during the Cenozoic era and fluctuations of solar energy. For the extreme Quaternary fluctuations of the higher latitudes a dominating rôle is played by the polar ice-caps.

Die Untersuchungen über die Pflanzenwelt Mitteleuropas im Tertiär geben uns die Möglichkeit, die Mitteltemperaturen der einzelnen erdgeschichtlichen Abschnitte wenigstens angenähert zu bestimmen. Untersuchungen dieser Art sind von O. HEER und anderen ausgeführt worden. Etwa folgende Mittelwerte werden für die einzelnen Tertiärabschnitte angegeben (vgl. hierzu H. L. F. MEYER 1917):

	Dauer	Mitteltemp.
Eozän	20 Mill. Jahre	22—20°
Oligozän	14 „ „	20°
Miozän	16 „ „	19—17°
Pliozän	12 „ „	14—10°

Am Ende des Pliozäns und in den Interglazialzeiten dürften die Mitteltemperaturen nur unwesentlich über denen der Nacheiszeit gelegen haben. In den Eiszeiten hatten wir in Mitteleuropa Temperaturabsenkungen von mindestens 12° C. Wenn wir für die Klimaoptima der Interglazialzeiten (und der Nacheiszeit) ein um etwa

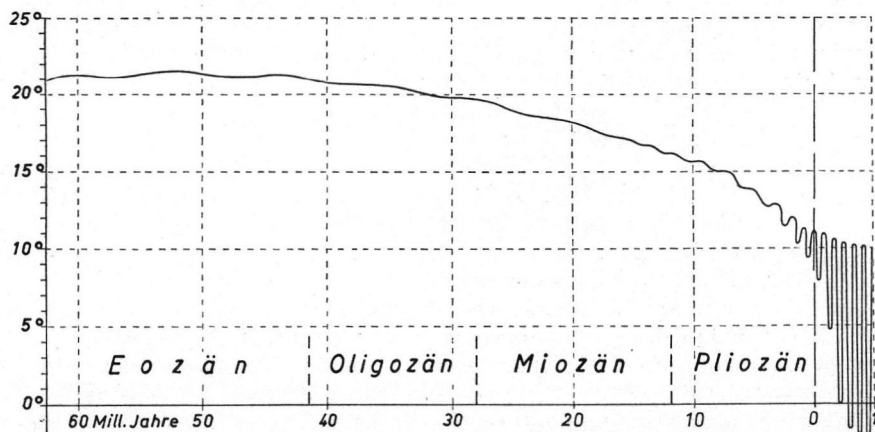


Abb. 1. Temperaturkurve (Mitteltemperaturen) für Mitteleuropa im Tertiär und Quartär, stark schematisiert. Man beachte, daß der Zeitmaßstab für das Quartär fünfmal so groß ist wie für das Tertiär.

2° höheres Jahresmittel als gegenwärtig annehmen, so kämen wir für diese Zeiten auf eine Mitteltemperatur von etwa 10° C. Während der Kältemaxima muß das Jahresmittel im eisfreien Vorland unter -2° C gelegen haben. Daraus ergibt sich eine Differenz von mindestens 12° C.

Konstruieren wir nun eine Temperaturkurve, indem wir auf der Abszisse die Zeit, auf der Ordinate die Mitteltemperatur auftragen, so ergibt sich die in Abb. 1 wiedergegebene schematische Darstellung. Da die Dauer des Quartärs im Verhältnis zum Tertiär verschwindend gering ist, ist in Abb. 1 die Zeit für das Quartär im 5fachen Maßstabe wie für das Tertiär dargestellt worden. Das darf bei der Betrachtung der Kurve nicht übersehen werden. Im übrigen sei nochmals betont, daß es sich hier um ein reines Schema handelt. Von einer Gliederung der einzelnen Eiszeiten — die zweifellos vorhanden war — ist hier abgesehen worden. Auch müßten die Schwankungen in der zweiten Hälfte des Pliozäns, streng genommen, in einem anderen Maßstabe dargestellt werden als die im Quartär.

Die Kurve zeigt für das Tertiär seit dem Eozän-Oligozän eine ganz allmähliche Abnahme der Mitteltemperatur. Die Kurve ist als schwache Wellenlinie gezeichnet worden, um anzudeuten, daß diese Abnahme wahrscheinlich nicht ganz gleichmäßig erfolgt ist. Auch wenn die Temperaturen im älteren Tertiär nicht ganz so hoch waren, wie hier angenommen ist, bleibt die Kurve im Prinzip die gleiche. In ihrem Ausmaß verstärkt sich die Temperatur-Abnahme im jüngeren Tertiär immer mehr, bis dann die Kurve im Quartär in, man möchte fast sagen, konvulsivischen Zuckungen verläuft. Wie ist diese merkwürdige Temperaturkurve zu erklären?

Für das Tertiär ist von manchen Autoren eine Polverlagerung angenommen worden. Mit der langsamen Wanderung des Pols zu seiner heutigen Lage sei Mitteleuropa aus der Heißen Zone allmählich in die Gemäßigte gekommen, und so sei die kontinuierliche Temperaturabnahme zu erklären. M. SCHWARZBACH (1946) hat aber überzeugend nachgewiesen, daß die Lage der um den Pol herum vorhandenen Fundpunkte wärmeliebender Pflanzen mit einer wesentlich anderen Lage des damaligen Poles nicht in Einklang zu bringen ist. Die Dinge können nach SCHWARZBACH nur so aufgefaßt werden, daß die damalige Heiße Zone ganz wesentlich weiter nach Norden reichte als heute — wahrscheinlich in manchen Gebieten bis zum heutigen Polarkreis. Das weiter nördlich gelegene Gebiet bildete die Gemäßigte Zone. Eine Kalte Zone mit polarer Eiskappe gab es damals nicht. Ähnliche Verhältnisse herrschten wahrscheinlich auf der Südhalbkugel, wenn auch unsere Kenntnisse über dies Gebiet weniger vollständig sind.

Im Alttertiär hatten wir also auf der Erde eine ausgeprägt *pliotherme* Periode im Sinne von W. RAMSAY (1910), und es entsteht die Frage, wie im Laufe des Tertiärs der allmähliche Übergang von dieser *pliothermen* Periode zu einer *miothermen* vor sich ging. Einer der wichtigsten Züge in der geologischen Geschichte des Tertiärs ist die fortschreitende allgemeine Regression des Weltmeeres. Wohl sind auch noch einzelne größere Transgressionen vorhanden — so im Oligozän, im mittleren Miozän usw. Aber im Ganzen ist, besonders im Jüngeren Tertiär, die absolute Tendenz der Regression vorhanden, die ihr Maximum am Ende des Tertiärs, vielleicht auch erst im Quartär erreicht (wobei hier abgesehen wird von den glazialeustatisch bedingten Trans- und Regressionen). Die Ursache wird von manchen Forschern gesucht in einer Verstärkung des Reliefs der Erde: die Kontinente wurden gehoben, die Ozeanböden senkten sich. Auf den Mechanismus dieser Vorgänge, mit dem sich u. a. O. JESSEN (1943) beschäftigt hat, sei hier nicht eingegangen.

W. RAMSAY, F. KERNER-MARILAUN, C. E. P. BROOKS und andere haben die Folgen dargestellt, die eine Verstärkung des Reliefs für das Klima haben kann (vgl. die

Ausführungen bei SCHWARZBACH 1950, S. 164ff.). Das Ausmaß dieser Verstärkung ist von R. F. FLINT (1947) auf mindestens 500 m geschätzt worden. Er nimmt an, daß sich im Laufe des Känozoikums die mittlere Höhe der Festländer von etwa 300 m auf über 800 m vermehrt habe. Ob allerdings diese Verstärkung des Reliefs mit all ihren Folgeerscheinungen, wie sie die genannten Autoren schildern, allein als ausreichende Erklärung für die allmähliche Temperaturabnahme im Laufe des Tertiärs angesehen werden kann, das muß offen bleiben. Es sei einmal angenommen, daß sie genüge. Es entsteht dann die Frage: kann sie auch für die Zukun- gen des Eiszeitalters, d. h. für das Abwechseln der Eis- und Interglazialzeiten, verantwortlich gemacht werden?

Einzelne Forscher bejahen auch dies. Entscheidend ist nach ihnen die Bildung großer Eiskappen in den Polargebieten, d. h. besonders im nördlichen. Diese Eiskappen wirken auf die Umgebung ein und führen zu Vereisungen in den höheren umrandenden Festlandsgebieten. So soll es zu den Eiszeiten kommen. Aber es erheben sich doch starke Bedenken gegen diese Anschauung. Die größten Schwierigkeiten ergeben sich vor allem, wenn man die Umkehrung des Prozesses, d. h. das Entstehen der Interglazialzeiten erklären will. So wird man für den Wechsel der Eis- und Interglazialzeiten doch an zusätzliche periodische Temperaturschwankungen denken müssen.

Zweifellos war durch die Verstärkung des Reliefs eine gewisse Eiszeitbereitschaft gegeben. Diese galt besonders für die Nordhalbkugel. Hier war einmal die im Laufe der geologischen Geschichte zu beobachtende Konzentrierung der Landmassen um den Nordpol von Wichtigkeit, auf die E. BEDERKE (Vortrag auf dem Inqua-Kongreß in Rom 1953) hingewiesen hat. Weiter aber wirkte die oben schon geschilderte Verstärkung des Reliefs. Für den Rhythmus der Eiszeiten wird man jedoch noch an eine zusätzliche andere Ursache denken müssen, am ehesten wohl an Änderungen der Sonnenstrahlung.

Ich glaube dabei nicht, daß die Schwankungen der Strahlungsmengen, wie sie infolge der periodischen Änderungen der Erdbahnelemente den einzelnen Breitenkreisen zugeführt werden („Strahlungskurve von MILANKOVITSC“), eine ausreichende Ursache für die Eiszeiten sind. Viel eher wird man, wie dies jüngst H. FLOHN (1953) wieder ausgeführt hat, an Schwankungen der Energieausstrahlung der Sonne im ultravioletten Spektralbereich zu denken haben. Es zeigt sich, daß die kurzperiodischen Schwankungen dieser Art zu einem Abwechseln „zonaler“ und „meridionaler“ Zirkulation (FLOHN 1952) führen. Letztere Art der Zirkulation scheint eiszeitfördernd zu sein. So liegt es zum mindesten nahe, Schwankungen höherer Ordnung anzunehmen, die dann für den Wechsel von Eis- und Interglazialzeiten verantwortlich wären. So kommen wir zu einem ähnlichen Ergebnis, wie es R. F. FLINT (1947) in seiner Solar-topographic hypothesis geäußert hat: wir haben bei der Erklärung der Eiszeiten am ehesten mit dem Zusammenwirken zweier (oder noch mehr?) Faktoren zu rechnen. Nur in ganz seltenen Perioden der Erdgeschichte wirkten diese Faktoren in demselben Sinne: dann gab es die Eiszeitalter, wie etwa das jungpaläozoische und das quartäre.

Es bleibt noch die Frage zu erörtern, wodurch der große Gegensatz verursacht wird, der im Verlauf der Kurve zwischen Tertiär und Quartär besteht: dem sehr gleichmäßigen Verlauf im Tertiär (wenn auch vielleicht mit kurz- oder langwelligen geringeren Schwankungen) und den exzessiven Ausschlägen im Quartär, die an eine Erdbebenkurve erinnern. Der Übergang vom einen Typus zum anderen ist hier im Pliozän angenommen worden. Man wird ihn mit der Bildung der polaren Eiskappen in Verbindung zu bringen haben. Wenn diese einen bestimmten Schwellenwert erreicht hatten, was offenbar am Ende des Pliozäns der Fall war, konnten sie — wie schon gesagt, wahrscheinlich unter Einwirkung

eines zweiten Faktors (Schwankungen der Sonnenenergie) — zu weitgehenden Vereisungen der angrenzenden Festländer (d. h. im wesentlichen auf der Nordhalbkugel) führen.

E. J. ÖPIK (u. a. 1953) allerdings möchte sowohl die großen wie die kleineren Temperatur-Schwankungen der Erde auf Änderungen der Sonnenstrahlung zurückführen. Die großen Schwankungen werden nach ÖPIK hervorgerufen durch periodische Umwälzungen im Sonneninneren. Sie wiederholen sich jeweils in etwa 250 Millionen Jahren und sind die Ursache für das Auftreten der Eiszeitalter. Zusätzliche kürzere Schwankungen, die in der Außenhülle der Sonne ihre Ursache haben, sollen den Rhythmus eines Eiszeitalters im einzelnen, d. h. den Wechsel der Eis- und Interglazialzeiten, bewirken. Man wird diese Hypothese weiter prüfen müssen, ehe es möglich ist, klar zu ihr Stellung zu nehmen. Die periodischen Änderungen der Erdbahnelemente („MILANKOVITCH-Kurve“) reichen nach ÖPIK nicht zur Erklärung des Eiszeitenrhythmus aus. —

Es muß im übrigen nochmals betont werden, daß die in Abb. 1 gezeigte Kurve zunächst nur für Mitteleuropa gilt. Allerdings würde eine entsprechende Kurve für das mittlere Nordamerika wohl ähnlich aussehen. Mit genaueren Werten für die eiszeitliche Absenkung der Temperatur im mittleren Nordamerika wird man dort rechnen können, wo ein eiszeitlicher Dauerfrostboden nachgewiesen ist. Bisher kennen wir in Nordamerika seine damalige Ausdehnung nach Süden hin noch nicht.

Für andere Gebiete würden die Temperaturkurven wesentlich anders aussehen. Je mehr wir uns einerseits den Tropen und andererseits den Polargebieten nähern, umso geringer müssen die Schwankungen im Quartär gewesen sein. Für die Tropen kann die allgemeine Temperaturabnahme während der Eiszeiten nach H. FLOHN (1952) auf etwa  $4^{\circ}\text{C}$  geschätzt werden. Hier sind also die Ausschläge der quartären Temperaturkurve wesentlich geringer als in Mitteleuropa.

Ähnlich geringe, ja vielleicht noch geringere Ausschläge haben wir in den Polargebieten zu erwarten. Umstritten ist dabei, wie eine solche Kurve für das Gebiet der Antarktis aussehen würde. Die Eiskappe muß sich hier im Jüngeren Tertiär gebildet haben, und von diesem Zeitpunkt an müssen wir mit einem ständigen, immer stärker werdenden Absinken der Mitteltemperatur rechnen, das die Absenkung in Mitteleuropa um ein Mehrfaches übertraf. Wie aber war es dann im weiteren Quartär? Hier hat W. MEINARDUS (1928) die Ansicht entwickelt, daß in der Antarktis für die Eiszeiten sogar höhere Temperaturen zu fordern seien als für die interglazialen Zeiten. Demgegenüber hat F. NÖLKE (1932) Argumente dafür beigebracht, daß auch in der Antarktis während der Eiszeiten mit tieferen Temperaturen zu rechnen sei. Es erscheint aber fraglich, ob im Bereich der antarktischen Eiskuppel selber überhaupt größere Unterschiede zwischen Eis- und Interglazialzeiten anzunehmen sind. Das Klima ist in beiden Fällen ja weniger beherrscht durch den allgemeinen Wärmezustand der Erdoberfläche als vielmehr durch die extreme Ausstrahlung im weiteren Polarbereich. Es scheint deshalb kaum notwendig zu sein, für die antarktische Eiskuppel selber größere Unterschiede in den Mitteltemperaturen zwischen Eis- und Interglazialzeiten anzunehmen. Die Unterschiede stellen sich dann erst in größerer Entfernung vom Pol ein, wachsen zu Extremen an in den mittleren Breiten, um zum Äquator hin wieder abzunehmen.

#### Schriften-Nachweis

- FLINT, R. F.: *Glacial Geology and the Pleistocene Epoch.* - New York u. London 1947.  
FLOHN, H.: *Allgemeine atmosphärische Zirkulation und Paläoklimatologie.* - Geol. Rundschau 40, S. 153-178. 1952. - - *Studien über die atmosphärische Zirkulation in der letzten Eiszeit.* - Erdkunde 7, S. 266-275. Bonn 1953

- JESSEN, O.: Die Randschwellen der Kontinente. - Pet. Mitt. Erg.heft 241. Gotha 1943.
- MEINARDUS, W.: Über den Wasserhaushalt der Antarktis. 2. Mitt. - Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl. 1938, S. 137-172.
- MEYER, H. L. F.: Klimazonen der Verwitterung und ihre Bedeutung für die jüngste geologische Geschichte Deutschlands. - Geol. Rundschau **17**, S. 193-248. 1917.
- NÖLKE, F.: Die Antarktis während der Eiszeit. - Z. f. Gletscherkunde **20**, S. 45-51. 1932.
- ÖPIK, E. J.: On the causes of palaeoclimatic variations and of the ice ages in particular. - Journal of Glaciology **2**, S. 213-218. Cambridge 1953.
- RAMSAY, W.: Orogenesis und Klima. - Oversigt finska Vetensk. Soc. Förhandl. **52** A, S. 1-48. 1910.
- SCHWARZBACH, M.: Klima und Klimagürtel im Alttertiär. - Naturwiss. **33**, S. 355-361. 1946.  
- - Das Klima der Vorzeit. - Stuttgart 1950,

Manusk. eingeg. 12. 1. 1954.

Anshr. d. Verf.: Prof. Dr. Paul Woldstedt, Bonn, Argelanderstraße 118.