

KLIMAGESCHICHTE DER ERDE *

Hartmann WEDDING

Mineral Research and Exploration Institute of Turkey

EINLEITUNG

Wir betrachten im allgemeinen das Klima als etwas Selbstverstaendliches, ohne uns Gedanken darüber zu machen, welche ausschlaggebende Rolle es in unserem Dasein spielt. Bedeutungsvoll sind hierbei sowohl Klimaänderungen aller Grade wie auch die Konstanz des Klimas. Die Konstanz sichert uns die Grundlagen unserer Ernaehrung, sie ist die Voraussetzung für unser Leben schlechthin. Klimaänderungen von lokalem bis regionalem und sogar globalem Ausmass können zu Missernten, Hungersnot, Überschwemmungen, Eiszeiten und sonstigen Ereignissen führen, die wir im allgemeinen als Katastrophen bezeichnen. Das Wort «Katastrophe» führt uns eindringlich vor Augen, wie eng unser Leben mit Wetter und Klima verbunden ist.

Das Jahresmittel der Temperatur auf der Erde betraegt heute etwa 14°C. Würde es nur um 3-6° abnehmen, wie bei der letzten Eiszeit, dann dehnten sich die Eiskappen der Pole aus und machten grosse Teile der Erdoberflaeche unbewohnbar für Mensch, Tier und Pflanze. Steigt dagegen die Temperatur um den gleichen Betrag, das heisst auf eine Höhe, wie sie etwa im aelteren Tertiaer und in der Kreidezeit herrschten, dann tritt folgendes ein : Die jetzt noch vorhandenen Eiskappen schmelzen ganz weg, die eisfrei gewordenen Gebiete, wie Grönland und die Antarktis, heben sich um 2-300 m (wie Skandinavien nach der letzten Eiszeit), der Meeresspiegel steigt um 20-30 m, die Folgen sind unübersehbar. Es sei in diesem Zusammenhang an die Sintflut erinnert, sie ist ein historisches Ereignis.

Mit den oben genannten Temperatur-Angaben von $\pm 3-6^{\circ}\text{C}$ haben wir aber bereits ein hervorragendes und —man möchte sagen— überraschendes Merkmal des irdischen Klimas festgestellt: *Die Jahresmittel von ausgesprochenen Warm- und Kaltzeiten differieren nur um rund 10°C*; das schliesst natürlich nicht aus, dass gelegentlich sehr hohe oder tiefe Temperaturen auftreten. Denken wir an die Mammutfunde in Sibirien; die doch gewiss nicht kleinen Tiere sind so schnell erfroren, dass weder das noch im Maul befindliche Futter noch der Mageninhalt in Verwesung übergehen konnten; das vollstaendige Ausfrieren muss also innerhalb weniger Stunden erfolgt sein. Kaeltetechniker haben berechnet, dass hierzu Temperaturen von etwa -100°C ; erforderlich waren.

Andererseits darf uns der geringe Unterschied zwischen Warm- und Kaltzeit eigentlich nicht wundern; diese kleine" Amplitude besagt doch weiter nichts, als dass Waermeproduktion und Waermeverlust der Erde sich im Gleichgewicht befin-

den und zwar —und das ist die zweite Überraschung— schon seit hunderten von Millionen Jahren.

Damit ist bereits eigentlich alles Wesentliche über das Klima der Vorzeit gesagt: es war im Grunde nicht viel verschieden von dem heutigen, wobei lediglich zu bemerken ist, dass die Kaltzeiten einen beträchtlich geringeren Zeitraum einnehmen als die Warmzeiten; sie sind sozusagen Ausnahmen.

Geologie und Palaeontologie sind in der Lage, den Beweis hierfür anzutreten; denn — so unwahrscheinlich es klingen mag — so vergaengliche Dinge wie Schnee und Regen, Wind und Sonnenschein haben sowohl den Sedimenten wie auch den darin eingebetteten Lebewesen, Tieren sowohl wie Pflanzen, ihren unzweideutigen Stempel aufgedrückt.

ANORGANISCHE KLIMAZEUGEN

Das Eis, das waehrend eine Kaelteperiode von den Polen in Richtung Aequator wandert, nimmt auf seinem Wege die verschiedenartigsten anstehenden Gesteine des Untergrundes auf und lagert sie beim Abschmelzen an dem jeweils erreichten Ort wieder ab und zwar vollkommen ungeschichtet, da ja die sortierende Kraft des Wassers und des Windes fehlt. Auf diese Weise entsteht ein ganz typisches, unverwechselbares Gestein, die Moraene, oder (in fossilem Zustand) der Tillit. Er ist unser wichtigster Zeuge für kaltes Klima. Für warmes Klima sprechen z.B. Salz- oder Gipsvorkommen. Neben diesen Gesteinen kennen wir noch spezielle Bodenbildungen für alle Klimazonen der Erde. Bekannt ist die Schwarzerde für semihumides Klima, oder der Laterit für tropisch warmes, wüstenhaftes Klima.

Eine grosse Rolle für Klima und Gesteinsart auf den Kontinenten spielt die Bewachsung. Bevor es Pflanzen gab, muss es also bis zu einem gewissen Grade etwas andersartige Gesteine gegeben haben. Das ist tatsaechlich der Fall. Ein typisches Gestein aus der Zeit, wo die Pflanzen lediglich die Küstenzonen der Kontinente erobert hatten, bilden die Grauwacken. Auf dem im allgemeinen noch pflanzenleeren Festland herrschte vorwiegend mechanischer Zerfall und unregelmäßiger Abtransport (wie heute noch in ariden Bereichen), lediglich an der Küste durchlief der Abtragungsschutt eine Zone mit Pflanzenwuchs, das ursprünglich rote Material wurde hier etwas ausgebleicht, es entstanden graue, klastische Gesteine, die Grauwacken (v. Beurlen). Sie sind also typisch für das pflanzenarme Palaeozoikum, mit der allmaehlichen Entstehung einer fast lückenlosen Pflanzendecke im Erdmittelalter verschwinden sie aus dem Gesteinsinventar der Sedimente.

ORGANISCHE KLIMAZEUGEN

Mit der weiteren Entwicklung des Lebens mehren sich nun auch die organischen Klimazeugen. Als Beispiel seien hier die Korallen genannt, typische Vertreter warmen Wassers. So wissen wir z.B., dass bestimmte Korallen der Oberkreide ein Jahresmittel von wenigstens 19-20° erfordert haben. Fiel die Winter-Temperatur unter 18°, nahm der Formenreichtum rapide ab, bei einem Jahresmittel von 18° starben sie ganz aus.

Leider kann hier, ebenso wie bei den anorganischen Klimazeugen, nicht auf Einzelheiten eingegangen werden. Nur soviel soll noch gesagt sein, dass es also ausgesprochen waermeliebende und kaelteliebende Tiere und Pflanzen gibt. Wenn nun z.B. in Sedimenten mit einer waermeliebenden Fauna plötzlich kalte Formen auftreten oder umgekehrt wegbleiben, so können wir daraus auf Beginn oder Ende einer Meeresverbindung (z.B. Bosphorus) oder wenigstens einer Meeresströmung schliessen.

Mit diesen kurzen Worten soll angedeutet werden, dass es also eine ganze Reihe von einwandfreien Klimazeugen sowohl anorganischer wie auch organischer Natur gibt.

DIE ROLLE DER GEBIRGSBILDUNGEN

Bevor wir uns nun dem eigentlichen Thema zuwenden, sollen mit ein paar Worten die Vorgaenge erwaeht werden, die sozusagen das Bindeglied zwischen Meteorologie und Geologie darstellen, die Gebirgsbildungen. Eine Gebirgsbildung veraendert das Antlitz der Erde von Grund auf, ihre Wirkungen erreichen die entlegendsten Punkte des Erdballes. Nicht nur die Verteilung von Land und Meer wird eine andere, sondern damit wird auch der Verlauf der Wasser- und Witterscheiden sowie der Meeres- und Luftströmungen in völlig neue Bahnen gelenkt, kurz, der gesamte Klimahaushalt geraet durcheinander, ein neues Klimagleichgewicht muss sich erst wieder einspielen. Am Beispiel der Korallen haben wir gesehen, wie empfindlich manche Tiere und Pflanzen auf Temperatur-Aenderungen reagieren. Die durch eine Gebirgsbildung verursachten Aenderungen aller Art bewirken, dass ganze Klassen und Ordnungen von Lebewesen aussterben. Die Grenzen der geologischen Formationen sind nun dorthin gelegt worden, wo einschneidende Veraenderungen im Bereich des Lebens auftreten, die haeufig klimatisch bedingt sind. Es ist wohl kein Zufall, dass in der Naehel der Grenze Urzeit/Altzeit und Altzeit/Mittelzeit der Erde eine Eiszeit auftritt. Am Ende einer jeden geologischen Formation begegnen wir einem grossen Sterben derjenigen Lebewesen, die sich den veraenderten Allgemeinbedingungen nicht oder nicht schnell genug anzupassen vermochten. Zu Beginn der naechsten Formation beobachten wir dagegen ein Aufblühen von bisher kaum in Erscheinung getretenen oder völlig neuen Gruppen. Hierzu ein kurzes Beispiel : Die beherrschenden Tiere des Mesozoikums waren die Saurier; ihre enorme Grosse bringt man mit optimalen klimatischen Bedingungen in Zusammenhang. Am Ende der Kreidezeit sterben die Saurier plötzlich und restlos aus. Die Gründe hierfür sind noch nicht endgültig geklaert, wahrscheinlich spielen auch hier klimatische Einflüsse eine wesentliche Rolle. Mit dem Moment des Aussterbens der Saurier beginnt die explosive Entfaltung der Saeugetiere, die wir zwar bereits seit dem Beginn des Mesozoikums kennen, die aber sozusagen «im Schatten der Saurier» überhaupt keine Rolle spielen. Hier an diesem scharfen Schnitt : Aussterben der Saurier (und einiger anderer Klassen) und Aufblühen der Saeugetiere wurde die Grenze Mittelalter/Neuzeit der Erde gelegt.

Eine Gebirgsbildung bringt also in allen Bereichen einschneidende Veraenderungen mit sich. Ein Gebiet, das einmal von einer Gebirgsbildung mit ihrem Rhythmus Sedimentation - Faltung + Versteifung - Abtragung betroffen wurde, wird nie wieder gefaltet. Nun kann man sich leicht ausrechnen, dass nach einigen

Gebirgsbildungen keine faltbaren Räume mehr vorhanden sind. Durch einen sogenannten «Umbruch» werden aber die versteiften Zonen der Erdkruste wieder mobil, wieder faltbar. Der letzte, der algonkische Umbruch, ereignete sich vor etwa 700 Millionen Jahren. Alles, was vorher etwa an Klimazeugen vorhanden war, ist also restlos wieder beseitigt, das heisst entweder erodiert oder durch Faltung und damit verbundene teilweise Umschmelzung der Gesteine bis zur Unkenntlichkeit veraendert.

KLIMAABLAUF

Nun wollen wir unter den bisher erwahnten Gesichtspunkten einmal versuchen, den Ablauf des Klimas bzw. der Temperatur auf der Erde zu rekonstruieren, wobei wir der Vollstaendigkeit halber mit der Entstehung der Erde beginnen wollen.

Nach der Turbulenz-Theorie von C. F. von Weizsäcker entstand die Erde aus einer Zusammenballung kosmischen Staubes. Das ist etwa 4-5 Milliarden Jahre her. Damals wird es wohl anfangs recht kühl gewesen sein, wir müssen mit Temperaturen um den absoluten Nullpunkt rechnen (Abb. 1). Durch Kontraktion und innere Reibung erwärmte sich diese Masse, sie begann schliesslich zu glühen, es herrschten an der Oberfläche Temperaturen in der Grössenordnung von etwa 1000°C. Aus diesen beiden Stadien der Entwicklung unseres Planeten besitzen wir

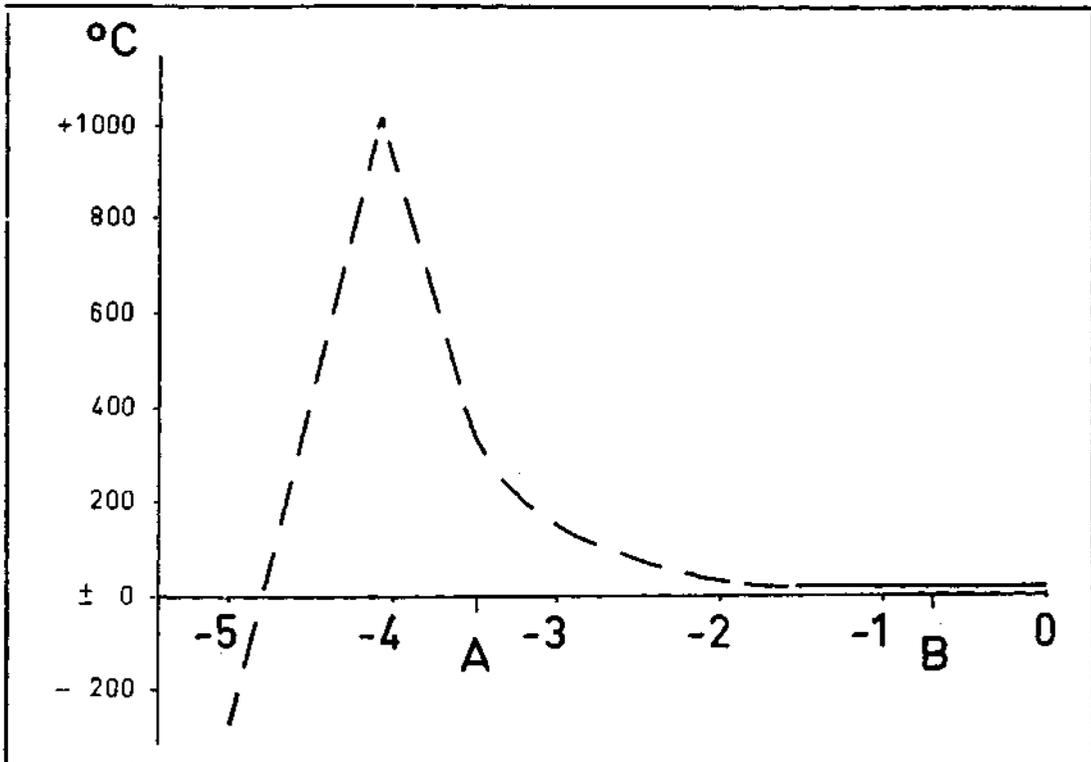


Abb. 1 - Temperaturverlauf auf der Erde seit der Entstehung bis heute.

Abszisse : Milliarden Jahre.

A = Zeitpunkt der ersten Erstarrungskruste;

B = Zeitpunkt des Algonkischen Umbruchs.

selbstverstaendlich keine Klimazeugen, von einem Klima kann man zu dieser frühen Zeit wohl auch kaum reden. Aber dann begann die Erdoberflaeche allmaehlich wieder abzukuehlen, vor etwa 3.5-4 Milliarden Jahren entstand die erste Erstarrungskruste (Punkt A in Abb. 1), etwas spaeter fiel der erste Regen und das Spiel von Abtragung und Sedimentation begann. Aber auch hier fehlen noch die geologischen Klimaurkunden, und zwar nicht deswegen, weil es sie nicht gegeben hat, sondern nur deswegen, weil diese Klimazeugen infolge der zahlreichen inzwischen erfolgten Gebirgsbildungen restlos wieder zerstört wurden.

Vor dem algonkischen Umbruch (Punkt B in Abb. 1 und 2) erfolgte die weltweite algomische Gebirgsbildung, (Abb. 2), kurz danach treffen wir bereits auf die Spuren einer ausgedehnten Vereisung, das heisst also auf grosse Tillitgebiete, namentlich in Australien. Spaetestens hier also, wahrscheinlich aber bereits noch früher müssen wir mit dem Vorhandensein von einer Art *Klimagürtel* auf der Erde rechnen. Ob es vorher schon Eiszeiten gegeben hat, ist aus den oben angeführten Gründen nicht mehr mit Sicherheit feststellbar. Von manchen Forschern wird es bejaht, von anderen verneint. Die Schwierigkeit liegt bei der Korrelierung der einzelnen isolierten Tillitvorkommen: Fossilien fehlen, die Altersdatierung mit Hilfe der radioaktiven Elemente steht erst am Anfang.

Das Klima des *jüngerer Algonkiums (Praekambriums)* ist verstaendlicherweise ebenfalls schwer ansprechbar, wahrscheinlich war es — analog dem spaeteren Verlauf der Kurve — ziemlich warm. Am Ende des Algonkiums haben wir die assyntische Gebirgsbildung und zu Beginn des *Kambriums* wiederum eine Eiszeit, die an der Grenze Urzeit/Altzeit der Erde steht. Dann wird es zusehends waermer, wir kennen kambrische Salzlagerstaetten in Sibirien und Indien und gotlandische in Nordamerika. An der Wende *Gotland/Devon* erfolgte die kaledonische Gebirgsbildung. Sie ist zwar weltweit verbreitet, scheint aber keine Hochgebirge hervorgebracht zu haben. Dies ist vielleicht der Grund dafür, dass wir bisher keine einwandfreien Tillite aus dieser Zeit gefunden haben, die Temperaturabnahme war wahrscheinlich nur gering. Im *Karbon* erfolgte die varistische Gebirgsbildung und die erste grosse Kohlenbildung ((K) in Abb. 2). In den Kohlengebieten, also zum Beispiel auch im Bereich von Zonguldak, treffen wir ein feuchtes, warmes Klima an, waehrend auf der Südhalbkugel ein kühleres Klima herrschte. Diese Gegensaeetze verschaerfen sich noch im *Perm*: im Norden wüstenhaftes Klima («Rotliegendes» in vielen Laendern), im Süden zum Teil wieder Vereisungen, besonders in Südafrika. Diese permokarbene Vereisung ist dadurch bemerkenswert, dass sie sich über einen verhaeltnismaessig langen Zeitraum erstreckte.

Im nun beginnenden *Erdmittelalter* haben wir auf der Erde ein ausgeglichenes, warmes Klima, waermer als heute. Natürlich gab es auch zu dieser und allen anderen Zeiten Klimaschwankungen, wie sie in Abb. 2 schematisch angedeutet sind, sie erreichten aber niemals das Ausmass einer Eiszeit. Im Verlauf der Kreidezeit mehren sich auch die Anzeichen für jahreszeitlich bedingte Klimagegensaeetze, also für Sommer und Winter; auf ein besonderes Indiz hierfür wird weiter unten eingegangen.

Mit Beginn des *Tertiaers* wird es langsam, aber stetig kühler, es erfolgt die alpidische Gebirgsbildung, im subtropischen Klima entstehen ausgedehnte Moore, wir begegnen der zweiten grossen Kohlebildung. Zu Beginn des *Quartaers* erreicht

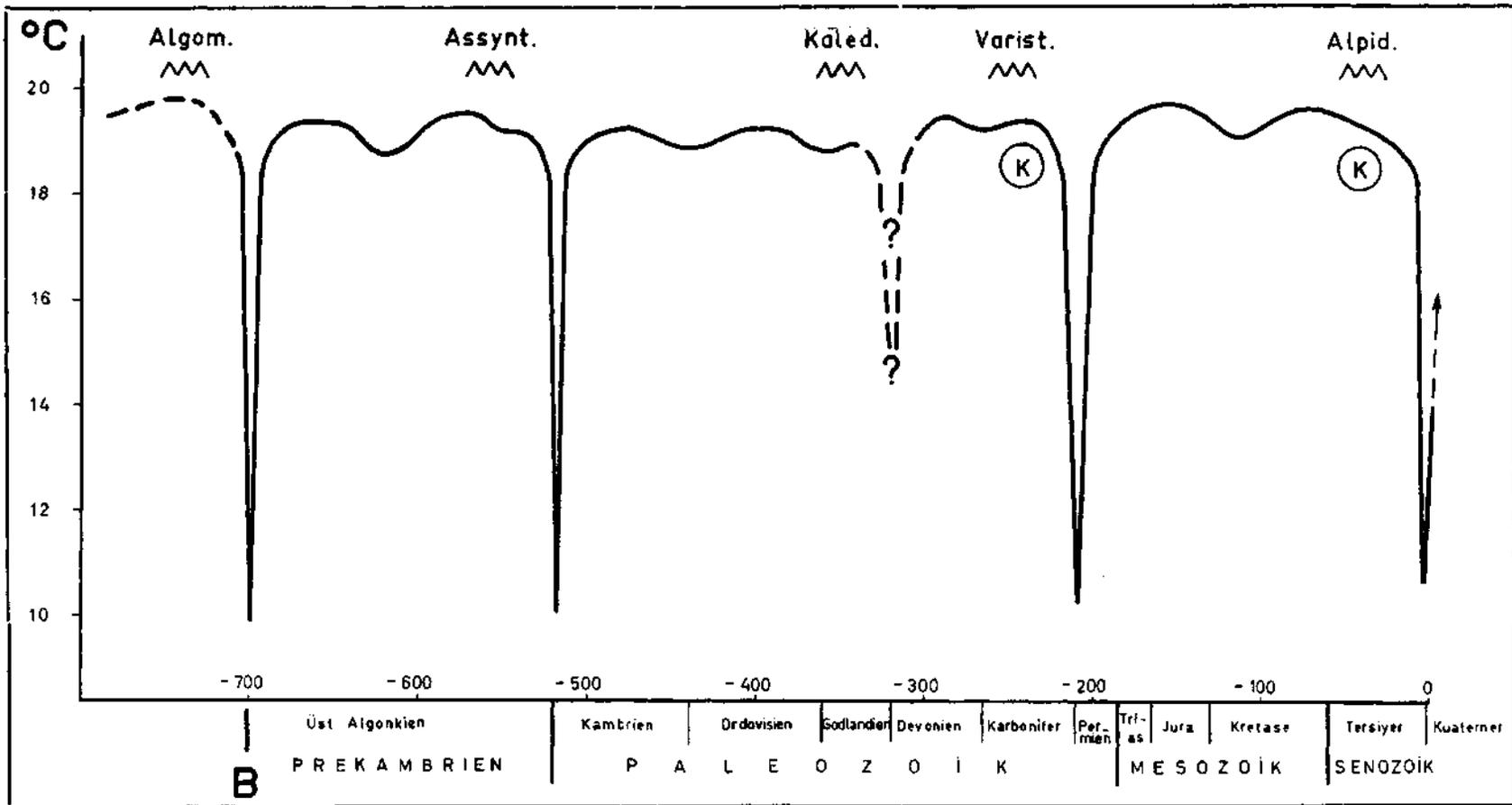


Abb. 2 - Jahresmittel der Temperatur auf der Erde seit dem Algonkischen Umbruch bis heute.

Abszisse : Millionen Jahre.

Algom. = Algonkische

Assynt. = Assyntische

Kaled. = Kaledonische

Varist. = Varistische

Alpid. = Alpidische

〰 = Gebirgsbildung

(K) = Kohlebildung.

B = Algonkischer Umbruch.

die sinkende Tendenz ihr Maximum, in höheren Breiten beginnen die Eiskappen sich neu zu bilden und auszudehnen in niederen Breiten herrschen Regenzeiten. Diese Eiszeit steht an der Wende Tertiaer/Quartaer. In Anatolien kennen wir aus dieser letzten Eiszeit nur geringe Spuren von Vergletscherungen. Das ist verstaendlich, denn wir befinden uns hier bereits ausserhalb der Vereisungszone im Regengebiet. Einwandfreie Gletscherspuren sind nur in den Hochgebirgen zu erwarten und dort auch gefunden worden, zum Beispiel im Taurus, Ararat und Kaçkardağ (Bobek, Louis, Spreitzer. Erinç).

BLICK IN DIE ZUKUNFT

Soviel über das Klima der Vergangenheit; und nun erhebt sich natürlich sofort die Frage, wie es in der Zukunft aussehen wird. Woldstedt veröffentlichte hierüber kürzlich eine interessante Kurve, die in Abb. 3 etwas vereinfacht wiedergegeben ist. Danach begann die letzte Eiszeit nicht plötzlich, sondern es kamen zunaechst einige kleinere Kaltzeiten oder Regenzeiten mit kurzen Eisvorstössen. Zwischen diesen gab es immer wieder Zeiten mit fast normalem Klima. Allmaehlich werden die Eisvorstösse aber immer grösser, das Maximum wird in der Mindel- und Riss-Eiszeit erreicht. Beide Eiszeiten sind durch eine laengere Warmzeit von einander getrennt und selbst innerhalb jeder einzelnen Kaltzeit gibt es eine deutlich waermere Periode. Diese Einzelheiten verdanken wir vor allem den Fortschritten der Pollenanalyse, mit deren Hilfe es möglich wurde, Auftreten und Verschwinden warmer und kalter Floren zu registrieren. Die letzte, die Wurm-Vereisung, erreicht laengst nicht mehr die Intensitaet ihrer Vorgaenger. Im Grossen gesehen haben wir also die Eiszeit hinter uns, wir naehern uns allmaehlich wieder dem normalen mittleren Jahresmittel von 18-20° (Abb. 2). Wir müssen aber wohl damit rechnen, dass analog dem Verlauf der Eiszeitkurve im Altquartaer in einigen tausend Jahren das Klima wieder etwas kühler wird, wenn auch keinesfalls in dem Ausmass der Mindel- oder Riss-Vereisung. Bemerkenswert an dieser Kurve ist der jeweils recht allmaehliche Anstieg im Gegensatz zu dem steilen Abfall nach Erreichen des Höhepunktes.

An der quartaeren Vereisung erleben wir sozusagen mit eigenen Augen, welche Auswirkungen Klima-Aenderungen auf die Lebewelt ausüben können. Flora und Fauna waren vor Beginn der Vereisung etwa die gleiche in Mitteleuropa wie in Nordamerika. Waehrend aber in Nordamerika das Leben die Möglichkeit besass, vor dem Eis nach Süden in waermere Gebiete auszuweichen, war in Mitteleuropa dieser Weg durch die ebenfalls vereisten Alpen versperrt; die nur im warmen Klima gedeihenden Tiere und Pflanzen starben aus.

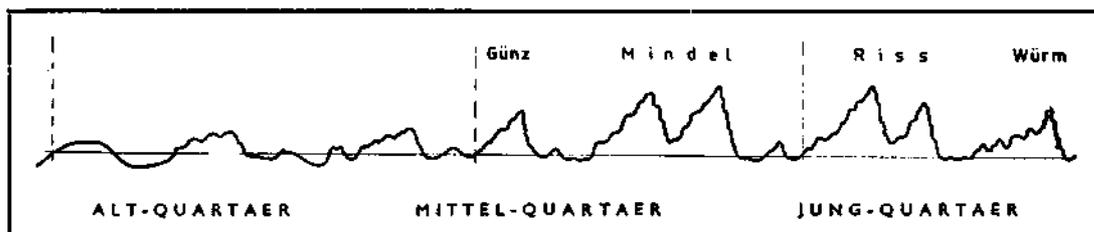


Abb. 3 - Schematische Kurve der Eisvorstösse waehrend der diluvialen Vereisung in Mitteleuropa.

(Aus : Woldstedt, 1960)

Betrachten wir die Abb.1-3 im Zusammenhang, so sehen wir, dass die Kurven immer differenzierter werden, je mehr, wir in die Details gehen. Für den Verlauf der Kurve in Abb.1 spielt es kaum eine Rolle, ob das Maximum wirklich bei 1000° gelegen hat oder nicht; der Typ der Kurve wird dadurch kaum beeinflusst. Aus der Kurve können wir aber mit aller Deutlichkeit ablesen, dass sich die Erde verhältnismaessig schnell erwärmte und ebenso schnell wieder abkühlte, bis sie sich auf ein Gleichgewicht einspielte. Die Abb. 2 stellt einen Ausschnitt aus Abb. 1 dar und zwar deren letzten Teil vom Algonkischen Umbruch bis heute. Wir sehen aus dieser Kurve, dass die Kaltzeiten eine Ausnahme darstellen. Die normale mittlere Jahrestemperatur der Erde liegt bei etwa 19°C . Wir kennen bisher keinerlei Anzeichen geologischer oder palaeontologischer Art dafür, dass die Amplitude der Jahresmittel von 10° zu irgendeiner Zeit nach dem Algonkischen Umbruch wesentlich überschritten wurde, das heisst, dass das Jahresmittel für längere Zeit einmal zum Beispiel $+ 50^{\circ}$ oder $- 20^{\circ}$ betragen haette. In diesem Falle waere naemlich entweder alles Leben auf der Erde erloschen oder aber es müsste sich palaeontologisch ein Schnitt in der Entwicklung des Lebens bemerkbar machen, der alle anderen uns bekannten in den Schatten stellte. Im Praekambrium sind Fossilien aeusserst selten; aber selbst die wenigen Lebensspuren, die man bisher gefunden hat, schliessen bereits extrem hohe oder tiefe Jahresmittel der Temperatur auf der Erde aus. Wir haben also gute Gründe für die Annahme, dass unsere Kurve der Jahresmittel in der Abb. 1 seit hunderten von Millionen oder —noch etwas genauer— seit rund 1,5 Milliarden Jahren mehr oder weniger einer geraden Linie gleicht und wahrscheinlich auch noch einige Zeit in diesem Sinne weiterlaufen wird.

Über die Eiszeiten selbst wissen wir noch recht wenig. Ein Blick auf die Abb. 2 zeigt uns, dass wir nach jeder Gebirgsbildung einer Kohlebildung begegnen (solange es Pflanzen gibt) und dass auf jede Gebirgs- bzw. Kohlebildung eine Eiszeit folgte. Der Zusammenhang zwischen Gebirgs- und Kohlebildung ist klar: erstere schuf mit ihren Senken erst die Voraussetzung für die Anhaeuftung mächtiger Pflanzensubstanz. Der Zusammenhang zwischen Gebirgs- und Kohlebildung einerseits und den Eiszeiten andererseits ist noch keineswegs geklaert. Wir wissen noch nicht: Ist es Zufall, ist es Gesetzmässigkeit.

Selbst die letzte Eiszeit gibt uns noch grosse Raetsel auf. Obwohl sie erst seit ein paar tausend Jahren zu Ende gegangen ist, obwohl wir vielleicht sogar noch mitten drin stecken, wissen wir immer noch nichts Sicheres über ihre Entstehungsursachen. Das Merkwürdige hierbei ist ja weniger das Ereignis der Eiszeit an sich, sondern vielmehr die Tatsache, dass innerhalb weniger hunderttausend Jahre das Eis mehrere Male kam und fast vollstaendig verschwand und dass in den Zwischenzeiten ein recht warmes Klima herrschte.

Neben diesen mehr wissenschaftlichen Fragen soll auch ein praktisches Problem zur Diskussion gestellt werden. Die Karte der Niederschlaege in der Türkei zeigt zum Beispiel bei Kızılcahamam einen tiefen Einbruch in das anatolische Trockengebiet (Abb. 4). Wir wissen, die feuchte Meeresluft wird von Luftströmungen in das Landesinnere gebracht. Trifft sie auf ein Gebirge, dann steigt sie auf, die Lufttemperatur erniedrigt sich, die Feuchtigkeit wird in Form von Regen abgegeben. Nun wird die Frage aufgeworfen: Ist es möglich, solche Einbrüche wie bei Kızılcahamam oder anderen günstigen Stellen durch Abtragen einiger Bergspitzen

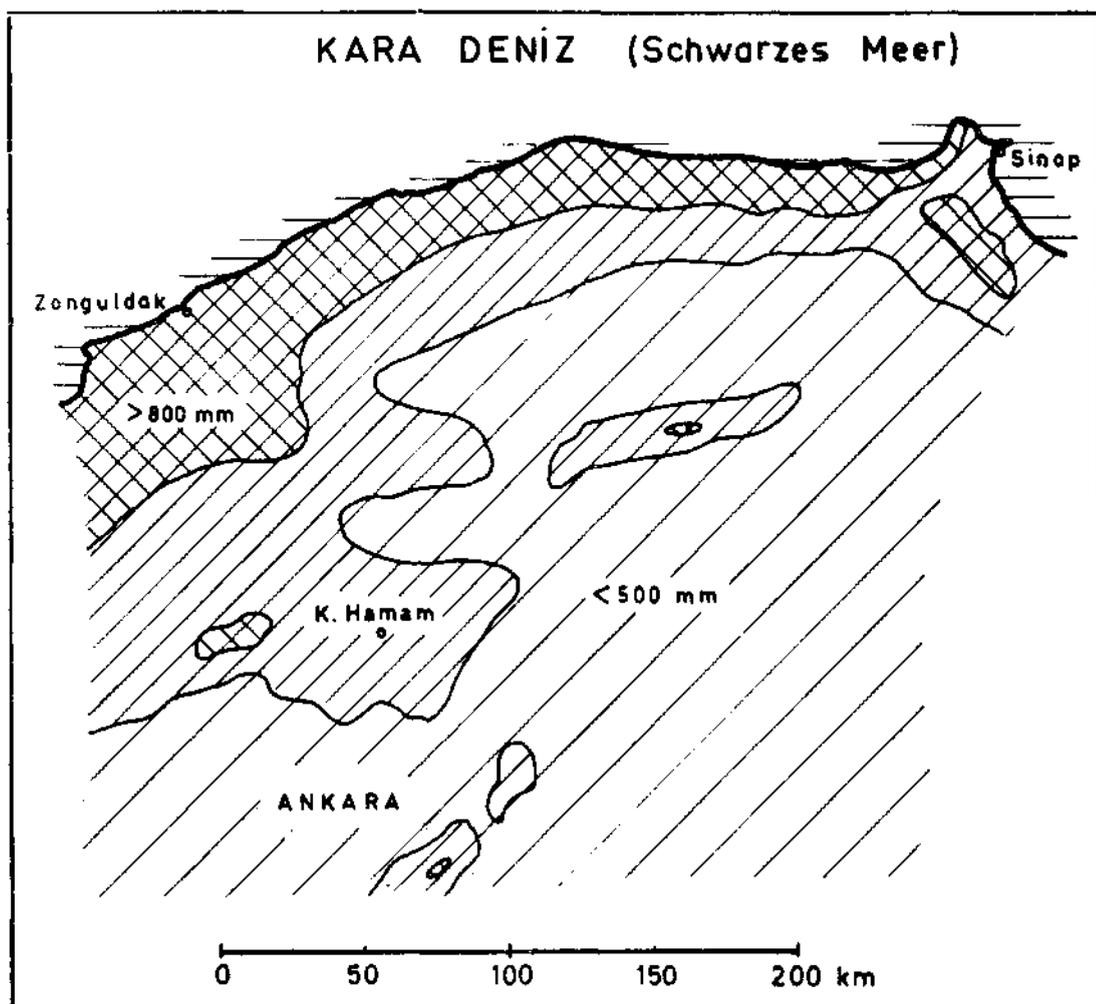


Abb. 4 - Ausschnitt aus der Karte der Niederschläge in der Türkei.
(Herausgegeben vom Meteorologischen Institut, Ankara. 1960)

—was heute technisch kein Problem mehr sein dürfte— künstlich so zu erweitern, dass die Niederschläge im Inneren Anatoliens wesentlich vermehrt werden?

Abgesehen, von diesen und anderen ungelösten Problemen können wir aber auch von erfreulichen Fortschritten berichten. Mit Hilfe der Isotopen-Geologie scheint ein Traum aller Geologen in Erfüllung zu gehen: Messung der absoluten Wassertemperatur laengst vergangener Meere. Die meisten Elemente verfügen über mehrere Isotope, vom Sauerstoff kennt man drei stabile, 18_0 , 17_0 und 16_0 . Die Häufigkeit ihres Auftretens ist abhaerig von der Temperatur des umgebenden Wassers. Gegeristaende, die in diesem Wasser gebildet wurden, zum Beispiel Kalkschalen von Muscheln, müssten also die Wassertemperatur der demaligen Zeit erkennen lassen. Besonders eignen sich Tür diese Untersuchungen die kalkigen Relikte, die sogenannten Rostren, der Belemniten. An einem Exemplar aus der Oberen Kreide hat man auf diese Weise nachgewiesen, das Tier wurde bei einer

Wassertemperatur von 18° geboren und starb bei 23,6° (Abb. 5). Die Temperaturkurve weist 2 Minima und 3 Maxima auf, die man als Winter- bzw. Sommer-temperatur des Wassers deutet; diese Tatsache wird als wichtiges Indiz für das Auftreten jahreszeitlich bedingter Klimagegensätze, das heisst Sommer und Winter, herangezogen. Aus der Kurve lässt sich ablesen, dass das Tier etwa 3 Jahre gelebt hat. Und nach diesen Anfangserfolgen hat man Temperaturkurven aufgestellt zum Beispiel in der Vertikalen für die gesamte Oberkreide, man hat in der Horizontalen die mittlere Temperatur einer bestimmten Kreideschicht, des Maastricht, gemessen von der Golfküste der USA bis nach Schweden und hat dabei erstaunliche Resultate erzielt.

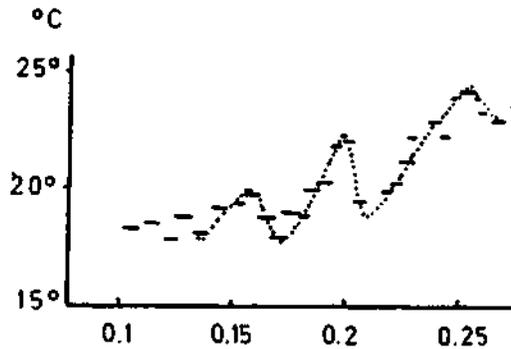


Abb. 5 - Schwankungen der Wassertemperatur, gemessen an einem *Actinocamax mamillatus* aus dem Unteren Campanien von Ivöe in Schweden (nach Lowenstam & Epstein, 1954). (Die Abszisse entspricht dem Radius des Belemnitenrostrums und zwar der halben Gewichtssumme der Proben in g.)

Und nun kommt das grosse Aber! Trotz aller zum Teil verblüffenden Resultate sind die Messergebnisse doch noch als recht unsicher anzusehen. Die Streuungen sind zum Teil recht hoch, ausserdem müsste man voraussetzen, dass die Isotopenzusammensetzung früherer Meere die gleiche war wie heute, dass Sauerstoff- und Salzgehalt der Meere sich nicht geändert haben, kurz, dass also die gemessenen Temperaturschwankungen nicht etwa auf einer Änderung der Isotopenzusammensetzung der Meere beruhen oder sonst irgendetwas ganz anderes bedeuten.

Ferner sind neuerdings auch Zweifel aufgetreten an den Kronzeugen des karbonen Klimas, den Bäumen. Aus der Tatsache, dass die Bäume der Steinkohlenwälder keine Jahresringe aufweisen, schloss man auf ein Klima ohne jahreszeitliche Gegensätze. Nun melden sich Stimmen mit der Behauptung, das Fehlen der Jahresringe bedeute kein klimatisches, sondern ein botanisches Problem.

WEITERE URSACHEN DER KLIMA-AENDERUNGEN

Oben wurden als Ursache für die Klimaänderungen, insbesondere für das Auftreten von Eiszeiten, die Gebirgsbildungen angeführt. Das gilt aber nur bis zu einem gewissen Grade. Denn zum Beispiel zwischen der varistischen Gebirgsbildung, die vornehmlich die Nordhalbkugel betraf, und der Gondwanavereisung auf der Südhalbkugel besteht kein rechter räumlicher Zusammenhang. Gebirgsbildung ist scheinbar nur ein Faktor von vielen anderen. Zum mindesten bei den paläozoischen Vereisungen haben ausserdem Polverschiebungen und vielleicht auch Kontinentaldrift eine Rolle gespielt. Und neben diesen terrestren oder endogenen Ursachen müssen wir wohl auch mit ausserirdischer, exogener Beeinflussung unseres Klimas rechnen. Hier waren vor allem Änderungen der Erdbahnelemente und der Sonnenstrahlung zu nennen. Neuerdings wird sogar die Ansicht vertreten, die

Eiszeiten hingen mit dem kosmischen Jahr, das heisst mit der Rotation der Milchstrasse, zusammen.

Aus den obigen Ausführungen wird ersichtlich, dass trotz aller Fortschritte unsere Kenntnisse über das Klima der Vorzeit doch noch recht lückenhaft sind und dass noch zahlreiche Probleme ihrer Lösung harren. Eines jedoch steht fest: Wenn auch die Amplitude der Jahresmittel unseres Klimas 10° kaum überschreitet, so ist sie doch gross genug, die Akzente für die Entwicklung des Lebens zu setzen. Das allein sollte Anlass genug sein, uns naeher mit dem Klima der Vorzeit zu beschaeftigen.

Manuscript received March 7, 1968

L I T E R A T U R

- BOBEK, H. (1940) : Gegenwaertige und eiszeitliche Vergletscherung im zentralkurdischen Hochgebirge (Osttaurus, Ostanatolien). *Zeitschr. f. Gletscherkunde*, Band 27.
- ERİNÇ, S. (1944) : Eiszeitliche Formen und gegenwärtige Vergletscherung im NE Anatolischen Randgebirge. *Geol. Rundsch.*, Band 22.
- LOUIS, H. (1944) : Die Spuren eiszeitlicher Vergletscherung in Anatolien. *Geol. Rundsch.*, Band 34.
- LOWENSTAM, H. A. & EPSTEIN, S. (1954) : Paleotemperatures of the Postaptian Cretaceous as determined by the oxygen isotope method. *J. Geol.*, Band 62.
- SCWARZBACH, M. (1950) : Das Klima der Vorzeit. *Verlag Enke*, Stuttgart.
- SPREITZER, H. (1958) : Frührezente und rezente Hochstaende der Gletscher des kilikischen Ala Dag im Taurus. *Geogr. Forschungen* (Schlern-Schriften), Band 190.
- VOIGT, E. (1964) : Zur Temperaturkurve der oberen Kreide in Europa. *Geol. Rundsch.*, Band 54.
- WOLDSTEDT, P. (1966) : Ablauf des Eiszeitalters. *Eiszeitalter und Gegenwart*, Band 17.