©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Eiszeiten — einst und jetzt. Erscheinungen, Voraussetzungen und vermutliche Ursachen

Von Univ.-Prof. Dr. Erich Thenius, Wien

Veränderte Wiedergabe des Vortrages vom 31. Oktober 1973

Einleitung: Die nachfolgenden Zeilen sind eine zusammenfassende Darstellung der mit der Entstehung von Eiszeiten verknüpften Erscheinungen und Probleme, wie sie sich nach neuesten Befunden ergeben. Die Darstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit; diesbezüglich sei auf M. SCHWARZBACH (1968, 1974) verwiesen, der in Übersichten die einzelnen Eiszeithypothesen besprochen hat. Hier sollen die mit Eiszeiten zusammenhängenden Fragen vornehmlich aus erdgeschichtlicher Sicht behandelt und zugleich eine Lösung für die Entstehung kryogener Perioden zu geben versucht werden.

Die Ursachen der Eiszeiten beschäftigen die Wissenschaft seit der Erkenntnis, daß zeitweise ausgedehnte Vergletscherungen weite Gebiete der Erd-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

oberfläche bedeckten. War es ursprünglich die Drifttheorie, welche die Herkunft der erratischen oder Findlingsblöcke in der norddeutschen Tiefebene durch Eisschollendrift zu erklären versuchte, so wurde diese Ansicht auf Grund zahlreicher Spuren einstiger ausgedehnter Vergletscherung in den Alpen und auch durch den Nachweis von direkten Gletschereinwirkungen in Norddeutschland schließlich durch die Gletschertheorie abgelöst, die von der Existenz mächtiger Eiskappen in Nordeuropa und Nordamerika sowie einer ausgedehnten Vereisung der Alpen zur Eiszeit ausgeht. Ursprünglich waren nur Spuren der eiszeitlichen oder pleistozänen Vergletscherung bekannt, erst später gelang der Nachweis von **präquartären** Vereisungen durch W. T. BLANFORD im Jahre 1856 in Indien und einige Jahre später auch in Südafrika. Es waren vornehmlich Tillite (PENCK 1906), also fossile Gletschermoränen, die zum Nachweis derartiger Vereisungen führten. Seither konnten diese einstigen Eiszeiten durch zahlreiche weitere Befunde (z. B. Gletscherschliffe, gekritzte Geschiebe, Warvite = einstige Bändertone, Diamiktite = glazialmarine Ablagerungen, kaltzeitliche Faunen und Floren) bestätigt bzw. ergänzt werden. Der Nachweis wiederholter Vereisungen bzw. Gletschervorstöße während des Pleistozäns durch den Altmeister der Quartärforschung A. PENCK war eine weitere wesentliche Erkenntnis, welche die Frage nach den

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

vermutlichen Ursachen von Eiszeiten erneut aufkommen ließ.

Zur Problemstellung: Die Ursachen der Eiszeiten oder besser kryogener Perioden werden auch gegenwärtig lebhaft diskutiert. Eine endgültige, allgemein akzeptierte Deutung scheint noch nicht gefunden worden zu sein, was nicht allein durch mehr als fünfzig Eiszeithypothesen dokumentiert wird. Derartige Lösungsversuche in Form von Hypothesen wurden von Meteorologen, Glaziologen, Geologen, Geophysikern, Pedologen, Paläontologen und Paläoklimatologen entwickelt.

Grundsätzlich sind jedoch zwei Problemkreise zu unterscheiden. Langfristige Klimaänderungen (Wechsel von kryogenen und akryogenen Perioden) und kurzfristige Klimaschwankungen innerhalb einer kryogenen Periode (Wechsel von Kalt- [Glaziale] und Warmzeiten [Interglaziale bzw. Interstadiale]).

Übersicht über Eiszeithypothesen: Die über 50 Eiszeithypothesen lassen sich thematisch in drei Gruppen gliedern:

I. Annahme extraterrestrischer Ursachen

1. Veränderungen der Sonnenstrahlung,
2. Sonnenstrahlung unverändert, jedoch interstellare Materie (z. B. Dunkelwolken, kosmischer Nebel) führt zu einer Verminderung der Sonneneinstrahlung auf der Erde.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

II. Änderung der Erdbahnelemente

1. Neigung der Erdachse,
2. Exzentrizität der Erdbahn,
3. Umlauf des Perihels (größte Sonnennähe)

Änderungen der Erdbahnelemente hat M. MILANKOVITCH (1941) als Grundlage für die Berechnung seiner sog. Strahlungskurve herangezogen. Die unter Punkt 2 und 3 angeführten Elemente führen zu periodischen Schwankungen. Weiters ergibt sich ein Alternieren der Erscheinungen auf der nördlichen und südlichen Hemisphäre.

III. Annahme terrestrischer Ursachen

1. Veränderungen der Atmosphäre (Bewölkungsdichte, CO_2-Gehalt [Treibhauseffekt], vulkanischer Staub durch erhöhte vulkanische Tätigkeit)
2. „Polwanderungen",
3. Gebirgsbildungen als Auslöser (vgl. variszische Orogenese und permokarbonische Eiszeit, alpidische Gebirgsbildung und pleistozäne Eiszeit)
4. Reliefhypothesen
   a) Veränderungen der Ozeane und deren Strömung,
   b) Kontinentalverschiebung und damit Änderung der Lage von Kontinenten zu den Polbereichen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Manche Eiszeithypothesen nehmen für die Entstehung von Eiszeiten eine Kombination der obgenannten Ursachen an (z. B. Solar-Reliefhypothesen bzw. multilaterale Eiszeit-Entstehung im Sinne von SCHWARZBACH; s. EMILIANI & GEISS 1959, SCHWARZBACH 1968, 1974).

Nahm man ursprünglich vorwiegend kosmische Einwirkungen als Ursache an (s. LAUSE 1937), so tendiert man heute mehr zur Annahme irdischer Faktoren als ausreichende Ursache, umsomehr als nach BROOKS (1950) und FLOHN (1964, 1969) bereits relativ geringe Temperaturschwankungen genügen, um einen Wechsel von kryogenen und akryogenen Perioden herbeizuführen. Diese Feststellung scheint durch neueste Befunde über die einstige alpine Vergletscherung bestätigt zu werden, wonach in verhältnismäßig kurzer Zeit u. zw. innerhalb weniger Jahrtausende der Aufbau bzw. Abbau mächtiger Gletschermassen erfolgte (vgl. PATZELT 1971, FLIRI & al. 1970). Bevor wir uns jedoch weiteren Befunden zuwenden, erscheint eine Klärung in terminologischer Hinsicht notwendig.

K r y o g e n e u n d a k r y o g e n e P e r i o d e n: Auch gegenwärtig herrschen in verschiedenen Gebieten, wie etwa in der Antarktis, in Grönland und in den Hochgebirgen durchaus eiszeitliche Verhältnisse (± ausgedehnte Inlandeismassen bzw. Gletscher, Eisstauseen etc.) mit den

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

auch für einstige Eiszeiten typischen Erscheinungen im periglazialen Bereich, wie Strukturböden (z. B. Steinnetzböden), Solifluktionserscheinungen und Frostboden (Permafrost; vgl. MELNIKOV 1973).

Da jedoch der Begriff Eiszeit (vom Botaniker K. SCHIMPER im Jahr 1837 auf Grund der einst viel ausgedehnteren Vergletscherung der Alpen eingeführt) bereits für das Pleistozän vergeben ist, erscheint es notwendig, für jene Perioden, in denen zwar polare Eiskappen, aber nicht unbedingt „richtige" Eiszeiten existierten, einen eigenen Begriff zu verwenden. Demnach lassen sich kryogene (nach kryos; griech. Eis) und akryogene Perioden unterscheiden. Wir leben gegenwärtig in einer kryogenen Periode, während etwa das Mesozoikum wegen des Fehlens polarer Eiskappen als akryogene Aera bezeichnet werden kann.

Während akryogener Perioden fehlen polare Klimazonen, die (kühl-) gemäßigten Klimazonen reichen bis in die damaligen Polgebiete, wie auch die tropischen und subtropischen Zonen etwas breiter waren. Daher erscheint der Nachweis von Floren der gemäßigten Zone in Alaska, Grönland und Spitzbergen im Mesozoikum (Jura, Kreide) verständlich — eine der heutigen Positionen annähernd entsprechende geographische Lage vorausgesetzt. Wir wollen uns nunmehr den Befunden aus der Vorzeit zuwenden. Es sei in diesem Rah-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

men bewußt eine Diskussion der präkambrischen Eiszeiten (mit Ausnahme der sog. eokambrischen; vgl. dazu DUNN, THOMSON & RANKAMA 1971) vermieden, da deren genaue Altersdatierung und damit eine etwaige Gleichzeitigkeit nur in den wenigsten Fällen gesichert ist.

Befunde: Wie bereits oben angedeutet, gelang der Nachweis großflächiger präquartärer Vereisungen und damit von einstigen Eiszeiten bereits in der frühen zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts. Waren lange Zeit Vereisungsspuren nur aus Vorderindien und Südafrika bekannt, so haben sich seither die Befunde wesentlich vermehrt, nicht nur, was die Ausdehnung der einst vereisten Gebiete betrifft. So haben neue Untersuchungsmethoden zu wesentlich neuen Erkenntnissen und Einblicken geführt (z. B. Paläotemperaturbestimmung durch die Karbonatmethode, Magnetostratigraphie durch wiederholte Umpolungen, fossile Planktonorganismen aus ozeanischen Sedimenten als Klimaindikatoren, Nachweis eisgedrifteter Sedimente durch Rasterelektronenmikroskop), die u. a. auch eine entsprechende Erweiterung von Vereisungen in zeitlicher Hinsicht dokumentieren und zugleich eine genauere Altersdatierung der Vereisungsspuren ermöglichen.

Diese neuen Erkenntnisse ließen erkennen, daß die angebliche Periodizität kryogener Perioden

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nicht existiert, da außer der eokambrischen, der permokarbonischen und der pleistozänen Eiszeit nicht nur weitere paläozoische (ordovizisch/silurische und devonische), sondern auch jungtertiäre Eis- bzw. Kaltzeiten nachweisbar sind. Damit ist das angeblich periodische Auftreten von Eiszeiten in Abständen von ungefähr 270 Millionen Jahren nicht mehr aufrecht zu erhalten. Das gleiche gilt für den verschiedentlich angenommenen Zusammenhang von Eiszeiten und Gebirgsbildungen (kaledonische, variszische, alpidische). Dieser ist nicht nur nach neuesten Befunden nicht gegeben, sondern auch schon im Hinblick auf die relativ geringe Wassermenge, die jeweils in den Hochgebirgen in Form von Gletschern gebunden ist, unwahrscheinlich. Das gesamte Gletschereis der heutigen Hochgebirge bildet nur 1% der Eismasse unseres Planeten. Fast 90% sind gegenwärtig in der Antarktis, weitere 9% in Grönland zu finden (s. HOINKES 1968). Freilich sind die sekundären Auswirkungen von Hochgebirgen für den Temperaturhaushalt der Erde, wie etwa die Funktion als Klimabarrieren und durch die Albedowirkung der Gletscher- und Schneeflächen nicht zu unterschätzen. Dennoch erscheint die Wirkung von Hochgebirgen nicht ausreichend, um die Entstehung kryogener Perioden zu erklären.

Besonders interessant sind die Befunde von den Südkontinenten sowie Vorderindien, dem einsti-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

gen Gondwanakontinent, die im Zusammenhang mit der permokarbonischen Eiszeit stehen. Der Begriff Gondwanakontinent wurde 1885 von SUESS auf Grund der gleichen geologischen, floristischen und faunistischen Entwicklung für einen einstigen einheitlichen Südkontinent geprägt, dessen einzelne Teile (Südamerika, Afrika, Australien und Vorderindien) durch Landbrücken miteinander verbunden gewesen sein sollen. Waren es ursprünglich nur Tillite (also fossile Gletschermoränen) und Gletscherschliffe in Südafrika (Dwyka-Tillite) und Vorderindien (Talchir-Tillite), so gelang seither der Nachweis von Tilliten aus Südamerika (Tupe-Tillite aus West-Argentinien, Itarare-Tillite aus Brasilien, s. LOHMANN 1965, Tarija- bzw. Taiguati-Tillite aus Bolivien, s. MAACK 1969), aus Australien (Tillite aus verschiedenen Becken; BROWN, CAMPBELL & CROOK 1969), Madagaskar (Perm-Tillite über den präkambrischen Ablagerungen, s. BRENON 1972), von den Falkland-Inseln (Lafonian-„Tillite" = Diamiktite, s. FRAKES & CROWELL 1697, CROWELL & FRAKES 1970) und sogar aus der Antarktis (Buckeye- und Pagoda-Tillite, s. DU TOIT 1937, KING 1958, 1961, DUOMANI & LONG 1962). Die Mächtigkeit der Tillite schwankt (z. B. Dwyka-Tillite von 30 Fuß Mächtigkeit in Transvaal bis zu 2500 Fuß in der südlichen Kap-Provinz). Allerdings erwiesen sich nicht alle dieser vermeintlichen Tillite als echte

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

fossile Gletschermoränen. Manche sind nur als Diamiktite *) zu bezeichnen, wie sie etwa beim Abschmelzen von im Meer driftenden Eisbergen entstehen. Eisbergen haftet meist Material der Grundmoräne an, das beim Abschmelzen auf den Meeresboden sinkt und somit in marine Ablagerungen eingebettet wird. Derartige Diamiktite können zwar im Gegensatz zu Tilliten nicht als Beweis für eine Vergletscherung am Ort gelten, doch setzt ihre Entstehung die Existenz von Gletschern und damit meist von ± größeren Inlandeismassen voraus. Dazu kommt der Nachweis von Warviten und angeblich auch von Trogtälern (z. B. Schlucht des Kunene-Flusses im Kaokoveld [SW-Afrika] nach MAACK 1969), die als Folge der ausgedehnten permo-karbonischen Vergletscherung angesehen werden. Selbst wenn letzteres, wie auch das von MAACK (1969) angenommene Vorkommen von auffallend rötlichen und violetten Quarziten, wie sie sonst nur aus Südwestafrika (Kaokoveld) bekannt wurden, in Tilliten aus Südbrasilien nicht zutreffen sollte, so dokumentiert das übrige Belegmaterial ausgedehnte Vergletscherungen der Südkontinente durch Inlandeismassen. Die Bewegungsrichtung des Gondwana-Inlandeises weist nach R.

---

*) Als Diamiktite werden moränenähnliche Bildungen (Pseudomoränen, Rutschmassen, Fanglomerate u. dgl.) bezeichnet (FLINT, SANDERS & ROGERS 1960).

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

MAACK in Südwestafrika und auch in Südbrasilien nach Westen.

Auch die Untersuchungen von H. GRABERT (1965) in Brasilien zeigen, daß im Paläozoikum in

Eiszeiten im Phanerozoikum (Paläo-, Meso- und Känozoikum)

Periode	Mill. Jahre	Vorkommen	Erscheinungen
Quartär	2-3	N- und S-Hemisphäre	Sämtliche Vereisungserscheinungen, Fauna und Flora
Tertiär	65	Antarktis, Alaska, Island südl. Pazifik	Tillite, Kaltwasserfaunen Diamiktite
Kreide	135		Faunenprovinzen
Jura	195		
Trias	225		
Perm	270	S-Hemisphäre (S-Afrika, S-Amerika, Antarktis, Indien, Australien)	Tillite, Warvite, Gletscherschliffe, Faunen und Floren
Karbon	340		
Devon	390	Kongo, Brasilien, Argentinien	Tillite
Silur	430	Sahara	Gletscherschliffe, Tillite, gekritzte Geschiebe
Ordovizium	480		Faunenprovinzen
Kambrium	570	Grönland, Spitzbergen, Skandinavien, Schottland, Australien	Tillite
Präkambrium			

Tabelle: Kryogene und akryogene Perioden im Phanerozoikum. Mesozoikum als akryogene Ära.

weiten Teilen glaziale bzw. boreale Bedingungen herrschten. Im älteren Devon existierte im Amazonas-Becken eine boreale Marinfauna, während im Parnaibá- und im Paraná-Becken richtige

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

glazigene Sedimente abgelagert wurden. Im Oberkarbon war die glaziale Fazies auf das Paraná-Becken beschränkt, während für das Amazonas- und Parnaibá-Becken, warmgemäßigte Klimabedingungen anzunehmen sind. Weiters hebt GRABERT die tiefgreifende Klimaveränderung vom Oberperm zur Triaszeit hervor, die vom kühlen bis glazialen Klima zu einem arid-wüstenhaften führte.

Für weite Gebiete der heutigen Südkontinente und für Vorderindien bzw. Madagaskar ist eine übereinstimmende Abfolge der Sedimente und deren fossiler Fauna und Flora, die meist über dem präkambrischen Basement liegt, kennzeichnend. Da die erwähnten Glazialbildungen vielfach an der Basis der Gondwanaschichten auftreten, wurden sie ursprünglich auch als gleichaltriger Leithorizont betrachtet. Wie jedoch neuere Untersuchungen gezeigt haben (vgl. KING 1961, MAACK 1969), sind diese basalen Glazialbildungen der einzelnen Kontinente durchaus nicht gleichaltrig. Abgesehen von den z. T. schon erwähnten devonischen Glazial- bzw. Kaltwassersedimenten in Brasilien (Tibagi- und Barreiro-Sandsteine) und in Südafrika (Bokkeveld-Schichten und Witteberg-Sandsteine) *) sowie den alt-karbonischen Tupe-Tilliten in Argentinien,

---

*) Das Alter der Witteberg-Serie ist umstritten. Sie werden verschiedentlich dem Karbon zugerechnet.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 1: Gondwanakontinent und „Wanderweg" des Gondwanapoles vom Ordovizium bis zur Trias (nach M. W. McELHINNY 1973). Lage des Antarkto-Australischen Kontinentes zu Südamerika-Afrika nach D. H. ELLIOT (1973), Position von Afrika zu Südamerika und Australien zur Antarktis nach dem Verlauf des Kontinentalsockels nach A. G. SMITH & A. HALLAM (1970). Beachte Polverlagerung vom Perm zur Trias, vom Festland zum Meer. Abkürzungen: O—S = Ordovizium-Silur, D = Devon, U-K = Unterkarbon, O-K = Oberkarbon, P = Perm, T = Trias.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

handelt es sich um oberkarbonische (Südafrika, Vorderindien, Madagaskar und Antarktis) und um (unter-)permische Bildungen (Madagaskar, Vorderindien, Australien), wo das kühle Klima im Osten bis zum Ende der Permzeit andauerte. Es scheint eine allmähliche Verschiebung der (sub-)glazialen Phasen von Südafrika über die Antarktis bis Australien stattgefunden zu haben, indem die Vereisung in Südamerika bis in das Oberkarbon, in Südafrika bis zum Ende des Oberkarbon und in Australien bis ins „mittlere" Perm andauerte (vgl. KING 1961 und Abb. 1). Ob damals ein einheitliches Vereisungszentrum oder deren zwei, wie FRAKES & CROWELL (1970) annehmen, ausgebildet war, ist derzeit nicht mit Sicherheit zu entscheiden. Zur jüngeren Permzeit herrschte in Südafrika und Vorderindien ein (warm-)gemäßigtes Klima, das nach Norden in ein subtropisches überging.

Über den basalen Glazialbildungen folgen in Südamerika, Südafrika und in Vorderindien meist (glazial-)marine Ablagerungen mit einer Kaltwasserfauna (nach der Leitform *Eurydesma*-Fauna benannt) sowie Kohlenhorizonte mit der typischen *Glossopteris*-Flora. Den Abschluß der marinen Schichtfolge bilden in Südafrika unterpermische Schiefer mit *Mesosaurus,* einem aquatischen Reptil, dessen Reste auch aus gleichaltrigen Ablagerungen Südamerikas (Südbrasilien) nachgewiesen sind.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Die *Glossopteris*-Flora ist übrigens auch aus Madagaskar, Australien und der Antarktis nachgewiesen (s. PLUMSTEAD 1973). Sie unterscheidet sich sowohl von der euramerischen in Europa, Nordafrika und dem östlichen Nordamerika als auch von der Angara-Flora Zentralasiens und der Cathaysia-Flora Südasiens.

Für das ältere Paläozoikum (Kambrium bis Silur) sind Aussagen in paläoklimatologischer Hinsicht für die Südkontinente wegen des fast völligen Fehlens von Fossilien nur bedingt möglich. Dies ist nicht zuletzt auf die damals vorwiegend kontinentale Faziesausbildung des Gondwanakontinentes zurückzuführen. Immerhin ist nach lithologischen Befunden für das Ordovizium und das Silur mit einem kühlen Regime zu rechnen. Lediglich aus dem südlichen Südamerika und aus Australien sind Anzeichen für warmgemäßigte bis tropische Klimazonen (Australien) vorhanden.

In diesem Zusammenhang seien auch jene Erscheinungen in Nordafrika (Sahara) erwähnt, die von Rh. FAIRBRIDGE (1969, 1970) als Anzeichen einer weiträumigen Vereisung in Form eines kontinentalen Eisschildes angesehen werden. Es handelt sich nach FAIRBRIDGE um Gletscherschliffe, Tillite, gekritzte Geschiebe und Diamiktite, die z. T. in verschiedenen Horizonten auftreten (s. FAIRBRIDGE 1971). Allerdings ist diese Deutung nicht unwidersprochen geblieben, indem weder die von

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

FAIRBRIDGE an jungordovizischen Sandsteinen als Gletscherschliffe gedeuteten, meist flächig und geradlinig verlaufenden Schrammen, noch die gekritzten Geschiebe glazialer Entstehung sein sollen (s. SCHERMERHORN 1970). Vielmehr seien diese Schrammen im unverfestigten Sand entstanden. Weiters werden diese geschrammten Sandsteine direkt — ohne Zwischenschaltung eines Transgressionskonglomerates — von altsilurischen Graptolithenschiefern überlagert. Zu diesen Einwänden ist zu sagen, daß die Schrammen, wie bereits FAIRBRIDGE betont, nicht auf eine Gebirgsvergletscherung zurückzuführen sind, sondern auf eine Inlandeismasse. Diese kann zum Teil als Schelfeis im epikontinentalen Bereich die Schrammen im marinen Sediment erzeugt haben. Auch die für etwas tieferes Wasser sprechenden Graptolithenschiefer im Hangenden können durch eine isostatisch bedingte Absenkung des Kontinentes, die zum Abschmelzen des Eisschildes samt Schelfeis geführt hat, erklärt werden. Diese isostatische Absenkung kann durch einen entsprechend mächtigen Eisschild bedingt sein. Gerade das Fehlen eines Transgressionskonglomerates stützt diese Annahme. Derart isostatisch bedingte Absenkungen sind auch von den im Pleistozän mit mächtigen Eisschilden bedeckten Gebieten (z. B. Baffin-Island, Spitzbergen, Skandinavien) bekannt und auch für die Antarktis anzunehmen. Erstere sind derzeit — nach Ab-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

schmelzen der Eismassen — in Hebung begriffen. Das Alter dieser Erscheinungen in der Sahara läßt sich auf Grund von Trilobiten im Liegendsandstein und der Graptolithenschiefer im Hangenden als Post-Caradoc und somit als Jung-Ordovizium bzw. Alt-Silur einengen.

Mit dem Nachweis glazialer Erscheinungen im Bereich der Sahara steht das Fehlen von Riffkorallen nicht nur in diesem Gebiet, sondern auch in Südamerika in Einklang. Riffkorallen sind im Ordovizium und Silur aus Nordamerika, Grönland, Europa, Vorder-, Zentral- und Ostasien sowie Australien bekannt geworden (s. KALJO & KLAAMANN 1973).

Auch aus Südamerika ist verschiedentlich über prädevonische Glazialspuren berichtet worden. So sind aus dem Zapla-Horizont des älteren und mittleren Silurs in Bolivien tillitartige Bildungen, Schrammen und geschrammte Gesteine beschrieben worden, die als Anzeichen einer Vereisung gedeutet und altersmäßig mit den prädevonischen Japo-Tilliten aus Süd-Brasilien in Verbindung gebracht werden (s. LOHMANN 1965, MAACK 1969). Möglicherweise sind es auch hier keine echten Tillite, sondern Spuren von Schelfeis. Dafür scheint auch die für Südamerika und das südlichste Afrika charakteristische malvino-kaffrische Provinz (nach Brachiopoden) zu sprechen (s. BOUCOT & JOHNSON 1973).

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Anzeichen kalter Klimazonen sind auch aus dem Devon des Gondwanakontinentes mehrfach nachgewiesen worden. Es sind einerseits Kaltwasserfaunen des älteren Devons aus Südamerika (Brasilien), dem Kongogebiet und Südafrika, andrerseits Tillite bzw. marin-glaziale Ablagerungen, die bereits oben erwähnt wurden. Allerdings sind manche der sog. Tillite nur Diamiktite (s. SCHERMERHORN & STANTON 1963). Nach R. MAACK (1969) sind oberdevonische Tilloide aus Brasilien, Patagonien und (?) Südafrika bekannt geworden. Zum Verständnis der Situation muß hinzugefügt werden, daß die Altersdatierungen dieser (sub-)glazialen Erscheinungen vereinzelt (z. B. Witteberg-Serie) nicht ganz gesichert ist und daß weite Teile Südamerikas, Nordafrika und Ostaustralien zur Devonzeit von einem epikontinentalen Meer überflutet waren.

Die permo-karbonische Eiszeit und ihre Auswirkungen auf der Südhemisphäre wurde bereits oben besprochen. Auf der nördlichen Hemisphäre fehlen bisher Spuren eines glazialen Klimas. Vielmehr spricht die Morphologie der Steinkohlenpflanzen und das Fehlen von Ruhestadien sowie die üppige Vegetation im Bereich der sog. euramerischen Florenprovinz für subtropische bis tropische Verhältnisse mit Regenwäldern im Oberkarbon bzw. Wüstengebieten im Perm.

Demgegenüber ist das Mesozoikum als akryoge-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ne Periode zu bezeichnen, fehlen doch bisher Anzeichen eines glazialen Klimas bzw. Vereisungsspuren völlig. Bereits oben wurde auf die tiefgreifenden Klimaveränderungen vom Perm zur Trias auf den Südkontinenten hingewiesen, die von einem kühl-glazialen zu einem (tropisch-)warmen Klima führten. Zur Jura- und Kreidezeit ist eine Differenzierung der Marinfaunen und Faunenprovinzen ausgeprägt, die bereits M. NEUMAYR (1883) zur Unterscheidung der mittel- und südeuropäischen mediterranen und der nordeuropäischen borealen Provinz führte. Seitherige Untersuchungen vor allem an Ammoniten, Belemniten, Riffkorallen und Gastropoden haben, trotz vereinzelter Kritik (ORTMANN 1896), im wesentlichen die klimatisch bedingte Differenzierung der Faunenprovinzen bestätigt (s. ARKELL 1956, STEVENS 1963, 1969, ZIEGLER 1965, BEAUVAIS 1973, HALLAM 1973). Die Unterscheidung dieser Faunenprovinzen beruht auf einer allmählichen Abnahme der Formenmannigfaltigkeit der Marinfaunen gegen Norden, auf der Nordgrenze von Riffkorallen, Diceraten und Nerineen sowie auf dem Vorkommen bestimmter Ammoniten- und Belemnitengattungen in der südlichen (z. B. Oppelien, *Belemnopsis, Hibolithes)* bzw. der borealen Provinz (z. B. *Virgatites, Cylindroteuthis).* Verschiedentlich vorgebrachte Einwände, daß hier rein geographische oder durch einen geringeren Salzgehalt bedingte faunistische

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Unterschiede vorliegen, sind nicht zutreffend (vgl. REID 1967). Wichtig ist jedoch, daß die damalige boreale Provinz nicht als Äquivalent des heutigen borealen, sondern eher als des (warm)gemäßigten Bereiches anzusehen ist.

Für die Kreidezeit gilt ähnliches, wie etwa die Verbreitung der Rudisten und von Großforaminiferen (z. B. Lituoliden, Orbitoiden, Alveolinen) erkennen läßt (s. KÜHN 1949, DILLEY 1973).

SLITER (1972), der die Planktonforaminiferenfaunen der jüngeren Kreidezeit im Nord-Pazifik untersuchte, unterscheidet vom Süden nach Norden die Tethys-, Zentral-, Zwischen- und boreale Provinz. Die Südgrenze der borealen Provinz liegt bei 45—46° n. Br. und somit nördlicher als gegenwärtig die Grenze zwischen der subarktischen und der Übergangsprovinz (Abb. 2). Dies bedeutet, daß zur jüngeren Ober-Kreidezeit die gemäßigte Zone ausgedehnter war als gegenwärtig. Radiolarien der Ober-Kreide von der Nordküste Alaskas sind ausgesprochene Kaltwasserformen.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang das „plötzliche" Aussterben der Planktonforaminiferen am Ende der Kreidezeit (Maastricht). Die Planktonforaminiferen werden zur ältesten Tertiärzeit durch neue Gruppen ersetzt. Es dürfte eine Abkühlung der Oberflächenwässer in ursächlichem Zusammenhang mit dem Verschwinden dieser Meeresorganismen stehen, zumal die Benthosforamini-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

feren davon nicht betroffen sind. In diesem Zusammenhang erscheint auch der in jüngster Zeit (Scientific staff 1973 a) durch Tiefseebohrungen gelungene Nachweis von eisgedriftetem Detritus in jüngstkretazischen Ozeansedimenten bemerkens-

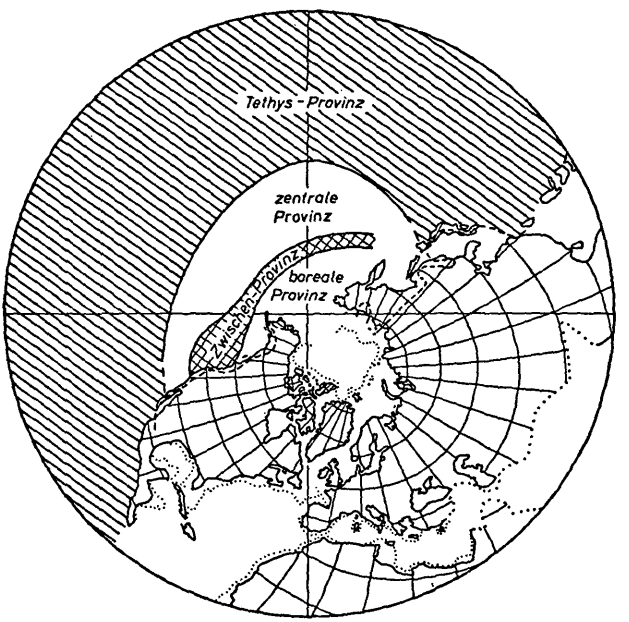

Abb. 2: Lage der Nordkontinente und des Pazifikpoles zur jüngeren Kreidezeit und Faunenprovinzen im Nordpazifik nach Planktonforaminiferen. Beachte offene Verbindung zwischen Nordpazifik und arktischem Ozean. Strichliert = einstiger Küstenverlauf. Nach W. V. SLITER 1972, verändert umgezeichnet.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

wert. Die Ergebnisse der Karbonatmethode seien hier absichtlich nicht berücksichtigt, da die durch H. A. LÖWENSTAM & S. EPSTEIN (1954) und R. BOWEN (1961) gewonnenen Ergebnisse auf diagenetisch verändertem Material (Belemnitenrostren) beruhen (vgl. VOIGT 1965 und TOURTELOT & RYE 1969).

Die Tertiärzeit galt gleichfalls lange Zeit als akryogene Periode. Hier haben neue Befunde zu völlig neuen Vorstellungen geführt. Wie für die Kreidezeit, kommt Planktonforaminiferen (neben anderen Planktonten, wie Radiolarien, Kalk- und Silicoflagellaten) als Temperaturindikatoren in Verbindung mit geophysikalischen Befunden (Magnetostratigraphie auf Grund wiederholter Umpolungen) und sedimentpetrographischen Ergebnissen (eisgedriftete Sedimente) eine wesentliche Rolle zu.

So haben Untersuchungen der Ozeansedimente im südöstlichen Pazifik und im Bereich südlich Australien-Neuseeland zum Nachweis eisgedrifteter Quarzsande aus „alteozänen", oligozänen und jungtertiären (mio-pliozänen) Ablagerungen geführt (s. MARGOLIS & KENNET 1970, Scientific staff 1973). Das Vorkommen derartiger Komponenten in marinen Sedimenten ist durch das Abschmelzen driftender Eisberge zu erklären. Diese wiederum setzen Gletscher bzw. eine Inlandeiskappe in entsprechender Entfernung voraus, wie sie wohl im

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Bereich der Antarktis zu suchen sein dürften (vgl. Abb. 3). Waren demnach zumindest Teile des antarktischen Kontinentes im Alttertiär (bes. Oligozän) vereist, so ist nach neuesten Untersuchungen bereits im Miozän mit einer ausgedehnteren Vereisung der Antarktis zu rechnen, was auch durch den

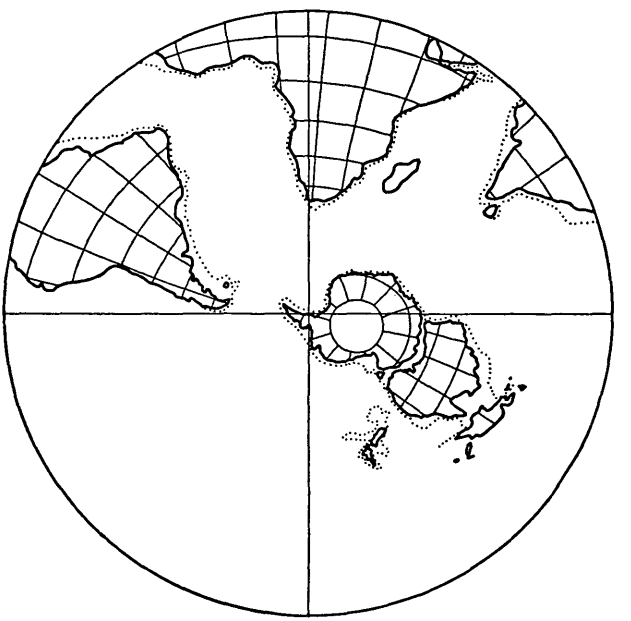

Abb. 3: Vermutliche Position der Antarktis und von Australien im Alttertiär und Lage des „Süd"poles. Nach D. P. McKENZIE & J. G. SCLATER 1971 und A. G. SMITH, J. C. BRIDEN & G. E. DREWRY 1973, verändert umgezeichnet.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Nachweis „miozäner" glazialer Erscheinungen im Bereich des transantarktischen Gebirges dokumentiert wird (ARMSTRONG, HAMILTON & DENTON 1968, DENTON, ARMSTRONG & STUIVER 1969, Scientific staff 1973). Hand in Hand damit geht eine Abkühlung der Wassertemperaturen des südlichen Pazifik, die ihren Höhepunkt im „Jung-Miozän" (= Alt-Pliozän), vor etwa 4 bis 5 Millionen Jahren erreichte, jedoch auch auf der nördlichen Hemisphäre spürbar war (vgl. ADDICOTT 1960, HAYS & OPDYKE 1967, GOODELL, WATKINS, MATHER & KOSTER 1968, STRAUCH 1972). Auf dieses Klimaxstadium folgte ein abrupter Schmelzvorgang, indem das Eis wohl auf eine der heutigen Position entsprechende Ausdehnung zurückging. Hervorgehoben sei, daß die Klimageschichte Australiens eine Zunahme der Temperaturen und auch der Feuchtigkeit bis zu einem Maximum mit (sub-)tropischem Klima im mittleren Tertiär (O-Oligozän — U-Miozän) zeigt, dem im „mittleren" Miozän eine Temperaturabnahme bei zunehmender Aridität folgt, die im Quartär ihr Klimaxstadium erreicht (s. GILL 1961, DORMAN 1966). Interessant ist, daß aus Südalaska (Wrangell-Mountains) und Island (Tjörnes) gleichfalls glaziale Spuren aus dieser Zeit bekannt sind (s. EINARSSON, HOPKINS & DOELL 1967, DENTON & ARMSTRONG 1969). Demnach kann auch die auf der Nordhemisphäre vom Eozän bis zum Ende des

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Tertiärs auf Grund der Flora und der Marinfaunen registrierte Klimaverschlechterung, die besonders im Oligozän spürbar war und die u. a. zu einer Südverschiebung der Klimazonen führte, im wesentlichen durch die zunehmende Vergletscherung der Antarktis erklärt werden (s. GOODELL, WATKINS, MATHER & KOSTER 1968). Auch die im Miozän beginnende und bis ins Pliozän andauernde konstante Absenkung des Meeresspiegels kann mit W. F. TANNER (1968) mit der zunehmenden Vergletscherung der Antarktis in Zusammenhang gebracht werden. Als etwas jünger (ca. 3 Mill. Jahre) werden Vereisungsspuren aus der Sierra Nevada (CURRY 1966) bzw. aus Süd-Argentinien (über 2 Mill. Jahre) angegeben (s. MERCER 1969). Allerdings ist in diesen Fällen zu berücksichtigen, daß es sich nur um lokale, nicht regionale Vergletscherungen handelt.

Alle diese Befunde stehen in Einklang mit den Ergebnissen an Planktonforaminiferen aus känozoischen Ablagerungen des äquatorialen Pazifik und Atlantik. Abgesehen von absoluten Temperaturwerten, wie sie mit Hilfe von Sauerstoffisotopen (0^{16}:0^{18}-Verhältnis) nach der Karbonatmethode an Gehäusen fossiler Foraminiferen gewonnen wurden, läßt die Verbreitung bestimmter Arten in jungtertiären und quartären Meeressedimenten konkrete Schlüsse auf die einstigen Oberflächenwassertemperaturen zu (z. B. Globorotalia me-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nardii-Gruppe für ± tropische Gewässer; Globigerina" pachyderma" (= incompta) mit rechtsgewundenen Gehäusen für gemäßigte [zwischen 9 und 15° C] und Globigerina pachyderma mit linksgewundenen Gehäusen für kühle Temperaturen [unter 8° C]). Demnach ist es bereits im „Jung-Miozän" und im Pliozän vorübergehend zu Kaltzeiten gekommen, die durchaus mit den pleistozänen Kaltzeiten vergleichbar sind (s. BANDY, CASEY & WRIGHT 1971). Da diese Klimaschwankungen zu Verschiebungen der Verbreitungsgrenzen bis zu 20 Breitegrade führten, ist eine Deutung allein durch vorübergehende Änderung der Ozeanströmung nicht ausreichend. Es sind Auswirkungen globalen Ausmaßes.

Die absoluten Altersdatierungen beruhen — soweit es sich um kontinentale Erscheinungen handelt — meist auf Lavaergüssen, die mit der K-Ar-Methode einstufbar sind, während die Ozeansedimente mit Hilfe der Magnetostratigraphie, die sich der wiederholten Umpolungen — ausgehend von der gegenwärtigen „normalen" Brunhes-Epoche — bedient, datiert werden [1]).

Für das Quartär seien nur einige für die folgenden Überlegungen wichtige Befunde aus jüngster

---

[1]) Die absolute Datierung des jüngsten Känozoikums erfolgt auf Grund unterschiedlicher Parallelisierung nicht einheitlich.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Zeit erwähnt. Es sei hier weder auf die mit der Zahl von quartären Kaltzeiten noch auf die mit dem Tempo von Wachstum bzw. dem Abschmelzen von Eiskappen (vgl. dazu WEERTMAN 1964, LAMB & WOODROFFE 1970, MATTHEWS 1972) oder auf die mit der Parallelisierung von Pluvialzeiten verknüpfte Problematik eingegangen, sondern nur auf die gleichfalls auf Planktonforaminiferen beruhenden Ergebnisse hingewiesen. Nach J. D. HAYS & al. (1969) sind innerhalb der letzten 700.000 Jahre nach Tiefseebohrkernen aus dem äquatorialen Pazifik acht Kaltzeiten zu unterscheiden, die sich weitgehend mit den Karbonatzyklen decken, wie sie in den gleichen Bohrungen festgestellt werden können. Demgegenüber unterscheidet C. EMILIANI (1966) in der karibischen See allein innerhalb der letzten 400.000 Jahre sechs verschiedene Tiefstände in der Temperaturkurve. Allerdings beruhen die absoluten Werte bei C. EMILIANI auf der angenommenen Sedimentationsgeschwindigkeit der Ozeansedimente.

Für die weiteren Überlegungen erscheinen folgende Feststellungen wesentlich. Gegenwärtig ist der arktische Ozean von einer Packeisdecke bedeckt, deren Ausdehnung jahreszeitlichen Schwankungen ausgesetzt ist, ohne daß diese etwa im Sommer abschmilzt. Die durchschnittliche Mächtigkeit dieser durch Wind und Meeresströmungen driftenden Eisdecke beträgt nach den Eisstationen der

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

USA und der USSR sowie den Tauchfahrten der Atom-Unterseeboote ungefähr drei Meter und ist nur örtlich durch Windpressung und Eisberge dikker. Wie paläoozeanographische Untersuchungen gezeigt haben, war der arktische Ozean bis vor ungefähr 0,7 Millionen Jahren frei von einer permanenten Packeisdecke. Erst seither wechselten eisbedeckte und eisfreie Perioden einander ab (s. HERMAN 1970). Das gegenwärtige Packeis hat sich seiner Ausdehnung nach seit ungefähr 80.000 Jahren nur wenig verändert (s. HUNKINS, BÉ, OPDYKE & MATHIEU 1971). Diese Ergebnisse sind in mehrfacher Hinsicht wichtig, fällt doch einerseits der Beginn der Bildung einer Packeisdecke mit dem „glazialen" Pleistozän zusammen, andrerseits war der arktische Ozean zu Warmzeiten eisfrei, was für die Beurteilung der gegenwärtigen Situation wesentlich erscheint.

Damit wollen wir uns den Voraussetzungen zuwenden, die für das Entstehen kryogener Perioden notwendig sind.

V o r a u s s e t z u n g e n : Die wichtigste primäre Voraussetzung für das Zustandegekommen kryogener Zeiten ist zweifellos die Hydrosphäre mit ihren physikalischen Eigenschaften (vgl. SCHWARZBACH 1972). Auf Grund dieser physikalischen Eigenschaften ergibt sich, daß Eiskappen nur im Bereich von Landgebieten, nicht jedoch im (offenen)

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Meer entstehen können. Da Eiszeiten stets zu sehr beachtlichen Meeresspiegelabsenkungen geführt haben, ist die Entstehung einer kryogenen Periode von der Existenz von zumindest einem Landgebiet (Kontinent) im Polbereich abhängig. Dieser Grundsatz kommt in der Polar-Koinzidenz-Hypothese von Rh. FAIRBRIDGE (1967) zum Ausdruck, wobei FAIRBRIDGE allerdings dem antarktischen Kontinent die Hauptrolle zuschreibt. Dazu kommen freilich noch andere Voraussetzungen, etwa Ozeane als Feuchtigkeitsspender, ferner Meeresströmungen, sowie isostatische Bewegungen der Kontinente, wie sie bereits oben erwähnt wurden.

Die Polar-Koinzidenzhypothese setzt indirekt eine Kontinentalverschiebung voraus. Nun lassen zahllose Befunde, die in den letzten eineinhalb Jahrzehnten von seiten der Geophysik (Paläomagnetismus, Seismik), der Meeresgeologie, der Geologie und der Paläontologie gewonnen wurden, keinen Zweifel mehr an Kontinentalverschiebungen im Laufe der Erdgeschichte aufkommen (vgl. TARLING & RUNCORN 1973). Das von H. HESS im Jahre 1960 entwickelte und von R. S. DIETZ (1961) als „sea-floor spreading" bezeichnete Konzept bietet zugleich auch den Schlüssel zum Verständnis der Entstehung kryogener Perioden. Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand dürften Kontinentalverschiebungen und die mit ihnen verknüpften Erscheinungen (veränderte Meeresströmungen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

usw.) allein ausreichen und die Annahme von Polwanderungen nicht notwendig machen. Letztere wurden bekanntlich bereits von W. KÖPPEN & A. WEGENER (1924) zur Erklärung der pleistozänen Eiszeiten herangezogen, indem der Nordpol während des Pleistozäns seine Position wiederholt verlagert und somit zum Wechsel von Kalt- und Warmzeiten beigetragen hätte. Nach neueren paläomagnetischen Untersuchungen ist jedoch nur mit ganz geringen Schwankungen der Lage des magnetischen Poles (eine gegenüber der heutigen Position zum Rotationspol nicht wesentlich veränderte Lage vorausgesetzt) zu rechnen, die für eine Erklärung des Wechsels von Glazial- und Interglazialzeiten nicht ausreichen.

Berücksichtigt man die bisherigen Befunde über die Meeresbodenverbreiterung und die in Zusammenhang damit entwickelten Vorstellungen über die Plattentektonik („plate tectonics"; s. MCKENZIE & PARKER 1967, MORGAN 1968), so lassen sich diese durchaus mit den obigen Befunden über kryogene und akryogene Perioden in Einklang bringen. Es kann an dieser Stelle nicht über die vermutlichen Ursachen des „sea-floor spreading" bzw. der „plate tectonics" und damit von Kontinentalverschiebungen diskutiert werden, doch sind es wahrscheinlich einerseits Konvektions-„strömungen" im Erdmantel, wie sie O. AMPFERER bereits 1906 in Verbindung mit Gebirgsbil-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

dungen angenommen hat, andrerseits Rotationsbewegungen der Lithosphäre auf der Asthenosphäre. Sämtliche gegenwärtige Ozeane sind, geologisch gesehen, relativ jung. Dies haben vor allem die Untersuchungen des US-Forschungsschiffes „Glomar Challenger" ergeben, das seit 1968 Tiefseebohrungen in sämtlichen Weltmeeren durchführt. Diese ozeanographischen Befunde lassen in Verbindung mit paläomagnetischen Daten vom Meeresboden eine Altersdatierung des Ozeanbodens zu. Die frühesten Anfänge **heutiger** Ozeane liegen in der Jurazeit (östlicher Pazifik, mittlerer Atlantik). Die paläomagnetischen Daten geben auch über das Tempo der Meeresbodenverbreiterung Aufschluß (von 2 bis 8 cm pro Jahr). Da es jedoch gleichzeitig immer wieder zu einem Absinken von Ozeanplatten in Tiefseegräben kommt, kann die prä-jurassische bzw. prä-kretazische Vorgeschichte der Ozeane nicht auf Grund ozeanographischer Befunde, sondern — wie bisher — nur an Hand der auf den Kontinenten erhaltenen Spuren (z. B. ehemalige Geosynklinalen und Gebirgsbildungen) beurteilt werden. Demzufolge existierten seinerzeit sowohl ein Protopazifik als auch ein Protoatlantik.

Die paläogeographische Entwicklung der Kontinente kann seit dem Jungpaläozoikum als in den Grundzügen bekannt gelten. Für die **präkambrische** Paläogeographie reicht unsere Kenntnis zu **sicheren** weltweiten Rekonstruktionen derzeit

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nicht aus, wenngleich wohl exakte Angaben über verschiedene Kontinentalmassen gemacht werden können. Es sei daher vom Jungpaläozoikum ausgegangen.

Im Jungpaläozoikum waren die heutigen Kontinente untereinander landfest zur sog. Pangaea verbunden, indem nicht nur der bereits oben wiederholt zitierte Gondwanakontinent aus den heutigen Südkontinenten einschließlich Vorderindien eine einheitliche Landmasse bildete, sondern auch eine direkte Verbindung mit Nordamerika und Eurasien (= Laurasia) existierte. Eine auf Grund geophysikalischer, geologischer und morphologischer Kriterien (z. B. Aneinanderpassen der Kontinentalsockelränder) erarbeitete Rekonstruktion zeigt etwa folgendes Bild (s. Abb. 1). Meinungsverschiedenheiten bestehen vor allem über die Lagebeziehungen zwischen Afrika und der Antarktis sowie über die Lage von Madagaskar und Vorderindien, ferner über Teile (Süd-)Ostasiens (vgl. dazu DU TOIT 1937, SMITH & HALLAM 1970, DIETZ & SPROLL 1970, FRAKES & CROWELL 1968, ELLIOT 1973). Gesichert ist dagegen die einstige Position von Afrika zu Südamerika und der Antarktis zu Australien. Auch über das Zusammenpassen von Nordamerika mit Westafrika und Europa besteht praktisch Einhelligkeit (s. BULLARD, EVERETT & SMITH 1965).

Paläomagnetische Untersuchungen sowie paläo-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

klimatologische Ergebnisse an Hand fossiler Klimazeugen sprechen für eine „Wanderung" des einstigen Südpoles, der mit Rh. W. FAIRBRIDGE besser als Gondwanapol gegenüber dem damaligen Nord- oder Pazifikpol zu bezeichnen ist, vom Ordovizium bis zum Karbon vom nordwestlichen Afrika über Nordostbrasilien und Angola nach Südafrika (Transvaal), um dann während der Permzeit die Ostantarktis zu erreichen (s. CROWELL & FRAKES 1970). Er näherte sich somit auch dem australischen Kontinent bzw. Vorderindien, die damals noch Teile des Gondwanakontinentes bildeten (vgl. BRIDEN 1970). Für die Perm-Triaswende ist nach paläomagnetischen Befunden ein ± scharfer Knick des „Polweges" anzunehmen, der zur Verlagerung des Gondwanapoles aus dem Kontinentalbereich in den offenen Ozean führte (s. BRIDEN 1970 VALENCIO & VILAS 1969, CREER, EMBLETON & VALENCIO 1970, SMITH, BRIDEN & DREWRY 1973). Dadurch fehlen nunmehr die Voraussetzungen für die Bildung einer polaren Eiskappe, umsomehr als der damalige „Nordpol" (= Pazifikpol) im Bereich eines einstigen Protopazifik lag, demnach auch dort die Voraussetzungen für die Bildung eines polaren Eisschildes nicht gegeben waren.

Wie bereits oben erwähnt, dürfte die „Wanderung" des Gondwanapoles durch Verschiebung der Kontinentalschollen vorgetäuscht sein. Unter Be-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

rücksichtigung obiger Annahme werden nicht nur die kaltzeitlichen Erscheinungen im Paläozoikum Afrikas und Südamerikas sowie in der Antarktis, in Vorderindien und auch Australien verständlich, sondern auch das Fehlen von eiszeitlichen Erscheinungen in der Trias.

Freilich harren noch manche Probleme einer Lösung, wie etwa die Überlagerung der glazialen Bildungen in der Sahara durch Graptolithenschiefer oder das Fehlen richtiger Vereisungsspuren, wie sie bei der „Wanderung" des Pazifikpoles in den arktischen Bereich zu erwarten wären. Ganz zu schweigen von dem mehrfachen Wechsel von Kalt- und Warmzeiten im Pleistozän.

Das Fehlen flächig entwickelter Gletscherspuren im älteren Paläozoikum kann mit der teilweisen Überflutung der im Polbereich befindlichen Kontinentalgebiete erklärt werden. Die Graptolithenschiefer im Hangenden des Saharaglazials lassen sich einerseits durch isostatisch bedingte Absenkung des Festlandes, andrerseits durch den eustatischen Meeresspiegelanstieg, der durch das damit verbundene Abschmelzen der Eiskappe bedingt ist, deuten.

Hinsichtlich der Position des Pazifikpoles ist zu berücksichtigen, daß dieser in der Trias- und Jurazeit im nördlichen (Proto-)Pazifik lag, der damals in breiter offener Verbindung mit dem arktischen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Ozean war (Abb. 2). Das für die jüngere Kreide- bzw. älteste Tertiärzeit anzunehmende „Einwandern" in den arktischen Bereich könnte in ursächlichem Zusammenhang mit der Klimaverschlechterung an der Wende Kreide/Tertiär stehen. Daß die Auswirkungen auf der nördlichen Hemisphäre nicht in Form von Vereisungsspuren nachweisbar sind, hängt mit der damals stärkeren Überflutung dieses Gebietes (Beringstraßenbereich) zusammen.

Erscheint damit die Entstehung kryogener Perioden verständlich, so zeigen die neuesten Erkenntnisse, daß der Beginn der geologisch jüngsten kryogenen Periode nicht erst in das Pleistozän, sondern bereits in das Tertiär fällt (z. B. glazialmarine Ablagerungen im südlichen Pazifik im Alttertiär, direkte Vereisungsspuren in der Antarktis seit dem Jung-Miozän). Dadurch und durch den Nachweis, daß der arktische Ozean bis vor ungefähr 700.000 Jahren sowie während der pleistozänen Warmzeiten praktisch eisfrei war, d. h. keine Packeisdecke getragen hat — während in der Antarktis eine Eiskappe entwickelt war — erscheinen die Auswirkungen auf der nördlichen Hemisphäre doch eher von der besonderen geographischen Situation abhängig, denn allein von der Vereisung der Antarktis beeinflußt.

Das Pleistozän als Sonderproblem (mehrfacher Wechsel von Kalt- und

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Warmzeiten): Der mehrfache Wechsel von Kalt-(Glazial-) und Warm-(Interglazial-)zeiten während der glazialen Dauer des Pleistozäns bildet somit zweifellos ein Sonderproblem, für das eine definitive Lösung auch hier nicht gegeben werden kann. Er läßt sich wohl am ehesten durch Autozyklen-Hypothesen erklären, wie sie verschiedentlich entwickelt wurden und von denen die wichtigsten kurz erläutert seien.

Die EWING-DONN'sche (s. EWING & DONN 1956/58) geht von der Wirkung des Golfstromes aus, die WILSON-HOLLIN'sche surging-Hypothese (s. WILSON 1964, HOLLIN 1965) hingegen von der Antarktis als Motor. EWING & DONN gehen davon aus, daß die Arktis einen von Kontinenten umgebenen Ozean bildet, der nur eine eingeschränkte Verbindung mit anderen Ozeanen hat. Das Ausgangsstadium eines Glazials bilden der Golfstrom bzw. ein eisfreies Polarmeer, das durch Verdunstung zu erhöhten Niederschlägen und damit zur Gletscherbildung und schließlich zur Entstehung von Inlandeis führt. Die Vereisung des arktischen Ozeans trete erst darnach ein, indem die eustatisch bedingte Meeresspiegelabsenkung mitwirkt. Die Vereisung des Polarmeeres bedeute aber auch das Ende der Kaltzeit, da das Inlandeis nicht mehr genügend ernährt werden kann und abschmilzt.

Gegen diese Hypothese sprechen die oben er-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

wähnten Befunde über die Vereisung des arktischen Ozeans.

Demgegenüber bildet nach WILSON und HOLLIN die Antarktis den Motor für die autozyklischen Vorgänge auf der nördlichen Hemisphäre. Voraussetzung für das Funktionieren ist ein großer Eisschild und demnach die symmetrische Lage des antarktischen Kontinentes zum Südpol. Das antarktische Inlandeis wird instabil, wenn es zu mächtig wird. Es kommt zum Ausfließen und gewaltige Schelfeismassen schieben sich allseitig bis zur antarktischen Konvergenz (gegenwärtig bei etwa 50° südl. Breite gelegene Grenze zwischen dem kalten zirkumantarktischen Wasser und dem 8—10° warmen Wasser der südlichen Ozeane) vor. Die dadurch bedingte erhöhte Albedo sowie kühle Meeresströmungen erniedrigen die irdische Gesamttemperatur und leiten somit die Vereisung der Nordhalbkugel ein. Der Abbau des Eisschelfes durch Kalbung und der nun langsame Ersatz des ausgeflossenen Eises führt zu einer Verkleinerung des Eisschildes und damit zur verminderten Albedowirkung. Die dadurch bedingt erhöhte Gesamttemperatur läßt ein neues Interglazial beginnen. Diese surging-Theorie wird u. a. durch das „plötzliche" Ansteigen des Meeresspiegels am Ende einer Kaltzeit begründet. Das Wechselspiel setzte erst im Quartär ein, als der Südpol im Zentrum des antarktischen Kontinentes lag. Für die Tertiärzeit, als

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nur kleine Eisschilde ausgebildet waren, ist ein Wechsel von Kalt- und Warmzeiten nicht oder in wesentlich schwächerem Ausmaß anzunehmen.

Die TANNER'sche Autozyklenhypothese (s. TANNER 1965) geht vom Inlandeis der nördlichen Hemisphäre aus, dessen Ernährung durch feuchte Luftströmungen vor allem am Südrand erfolgte. Durch entsprechendes Wachstum gerät das Eis in wärmere Breiten und das Wachstum hört auf. Das Abschmelzen wird unterstützt durch isostatisches Absinken des Untergrundes, ein Interglazial entsteht. Erst nach Auftauchen des Untergrundes in die ursprüngliche Höhe beginnt das Wachstum und Vorrücken des Eisschildes von neuem. Auf Grönland und der Antarktis bilden sich permanente Eisschilde, da sie nicht in warmen Regionen liegen. Der Mechanismus ist daher dort nicht wirksam.

So verständlich die allein auf der besonderen geographischen Situation der Arktis basierenden Autozyklenhypothesen auch erscheinen (Selbstverstärkung durch Albedo, Absenkung des Meeresspiegels und Entstehen submariner Schwellen als Barrieren gegenüber Pazifik und Atlantik, Vergrößerung der Landoberfläche bzw. Rückläufigkeit durch Verringerung der Niederschläge usw.), so problematisch bleibt deren Beginn. Aber auch die Verteilung der Inlandeisschilde in Nordamerika und Europa bildet ein Problem.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Läßt sich letzteres bis zu einem gewissen Maß mit dem Verlauf des Golfstromes (als Feuchtigkeitsspender) in Zusammenhang bringen, so ist der Beginn der Vereisung dadurch nicht zu erklären. Die Entstehung der Panamabrücke im ausgehenden Tertiär bzw. ältesten Quartär (vgl. Ausbreitung von nordamerikanischen Landsäugetieren nach Südamerika; ferner fehlende Verbindung der Marinfaunen des östlichen Pazifik und der Karibischen See im Pliozän) und die Gestalt des Nordatlantik durch das „sea-floor spreading" zur jüngsten Tertiärzeit zeigen, daß der Golfstrom bereits im ältesten Quartär existierte und ein dem heutigen ähnlicher Verlauf anzunehmen ist. Es müssen demnach andere Ursachen als „Auslöser" wirksam gewesen sein. „Polverlagerungen" scheiden — wie schon erwähnt — als Erklärung aus. Eher dürften die besonderen topographischen Verhältnisse im Bereich der Arktis ausschlaggebend gewesen sein, wie ozeanographische Untersuchungen vermuten lassen. So setzt sich der mittelatlantische Rücken im Nansen-Rücken im arktischen Becken fort. Dieser ist jedoch an der DE GEER'schen Störung, die annähernd senkrecht zu diesem Rücken verläuft und welche zugleich die Begrenzung des Kontinentalsockels in der Barents-See markiert, stark nach Nordwesten verschoben (vgl. WILSON 1966). Diese Blattverschiebung ist gleichzeitig mit einer Westdrift Grönlands verbunden. Nach paläomagne-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

tischen Daten vom Ozeanboden begann diese Störung bereits zur jüngeren Kreidezeit wirksam zu werden, doch bestand noch im Alttertiär eine direkte Landverbindung zwischen Grönland und Spitzbergen (vgl. SIMPSON 1947, McKENNA 1972). Erst im Laufe des jüngeren Tertiärs bzw. des Quartärs kam es zur tatsächlichen Öffnung des arktischen Beckens und den Skandik bzw. den Nordatlantik (s. HARLAND 1967, 1969). Man kann sich vorstellen, daß erst dadurch der Wärmehaushalt des Nordatlantik und indirekt auch der Nordhemisphäre entsprechend beeinflußt wurde und durch zusätzliche Faktoren (z. B. Albedowirkung, eustatisch bedingte Meeresspiegelabsenkung, isostatisch bedingte Absenkungen und Hebung von Kontinentalmassen) autozyklische Vorgänge in Gang kamen. Gegen eine stärkere Beeinflussung des Nordatlantik durch eine arktische Tiefenströmung spricht jedoch die Island-Färöer-Schwelle, die als submarine Barriere den Skandik vom übrigen atlantischen Ozean trennte.

In diesem Zusammenhang noch einige Bemerkungen zur sog. ozeanologischen Eiszeit-Theorie von D. P. KVASOV (1971). Nach KVASOV verhinderte die Bildung der Island-Färöer-Schwelle die Wärmezirkulation zwischen Atlantik und nördlichem Eismeer und führte zur Abkühlung im Plio-Pleistozän. Als Auslöser der Vereisungen werden zwar Erdbahnschwankungen angesehen, doch ist

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

der Wechsel von Kalt- und Warmzeiten autozyklisch bedingt. Durch die Vereisung Skandinaviens und Nordamerikas kommt es zur Meeresregression und im Bereich des Barentsmeeres bildet sich ein Eisschild. Dieser bedingte größere Kontinentalität des Klimas und führte zu einer Abnahme der Niederschläge und damit zu einem Rückgang der Vereisung, d. h., ein Interglazial wird eingeleitet.

Daß zusätzliche Schwankungen der Erdbahn eine verstärkende oder abschwächende Wirkung entfalteten, geht aus den Tiefbohrungen im Inlandeis Grönlands (Camp Century, 225 km E von Thule, bis 1390 m Tiefe) hervor (s. DANSGAARD, JOHNSEN, CLAUSEN & LANGWAY 1970, 1971). So lassen sich periodische Schwankungen alle 78, 180, 400 und 2.400 Jahre nachweisen, die wohl dadurch bedingt sind. Die durch die Bohrung erfaßte Zeitspanne entspricht nach den Fließmodellberechnungen ungefähr 125.000 Jahren. Die nach der O^{16}/O^{18}-Methode gewonnene Temperaturkurve (besser Paläovereisungskurve) widerspiegelt die Klimaschwankungen des letzten Interglazials und Glazials mit verschiedenen Interstadialen. Sie dokumentiert den Höhepunkt der Würm-(= Late Wisconsin-) Vereisung zwischen 32.000 und 14.000 Jahren und zeigt den vor ungefähr 12.000 Jahren einsetzenden raschen Temperaturanstieg, der zum Abschmelzen des Eisschildes führte.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Machten sich die Erdbahnschwankungen zwar durch periodische Klimaänderungen bemerkbar, so dürften sie nicht ausreichen, um den Wechsel von Kalt- und Warmzeit zu erklären (s. SHAW & DONN 1968). Demgegenüber genügten nach G. J. KUKLA (1972) bereits geringe (negative) Insolationsschwankungen, um vervielfacht durch die Albedowirkung der winterlichen Schneefelder der nördlichen Hemisphäre und den dadurch bedingten Ozean-Atmosphäre-Rückkoppelungseffekt Kaltzeiten auszulösen.

Die in jüngster Zeit im Inlandeis der Antarktis (Byrd Station; s. JOHNSEN, DANSGAARD, CLAUSEN & LANGWAY 1972) abgeteuften Tiefbohrungen haben gleichfalls sehr interessante Ergebnisse gezeitigt. Die im Grönlandeis für die jüngsten 8.300 Jahre festgestellten, jahreszeitlich bedingten Unterschiede im Isotopenverhältnis (= Temperaturdifferenzen) fehlen im Eis der Antarktis. Weiters ist eine Übereinstimmung der Paläovereisungskurve mit Grönland nur in den großen Zügen gegeben (sie reicht nach analogen Berechnungen nur etwas über 95.000 Jahre zurück), indem der durch Schwankungen gekennzeichnete Beginn der letzten Kaltzeit zwischen 67.000 und 77.000 Jahren anzusetzen ist und die Nacheiszeit relativ rasch vor 13.000 bis 15.000 Jahren einsetzte, jedoch die während dieser Kaltzeit registrierten Klimaschwankungen **keine** Parallelisierung mit jenen der Camp

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Century-Tiefbohrung gestatten. Damit ist jedoch die **Gleichzeitigkeit der klimatischen Großereignisse** der geologisch jüngsten Vergangenheit **für die nördliche und südliche Hemisphäre nachgewiesen,** nachdem bereits durch absolute Altersdaten gestützte Befunde für das Spät- und Postglazial dies dokumentiert hatten (vgl. FLEMING 1963, GILL 1971). Dies bedeutet, daß auch in der Antarktis die präholozäne Vergletscherung viel ausgedehnter gewesen ist als die gegenwärtige. Dafür sprechen nicht nur Tillite in heutigen Trockentälern, sondern auch die isostatisch bedingte Absenkung des antarktischen Festlandes, wie es etwa durch das Basement und durch die Morphologie (z. B. versunkene Täler in der West-Antarktis; frdl. Mitt. von Prof. Dr. W. MEDWENITSCH) nahegelegt wird.

Es bestehen aber noch weitere Unterschiede in den Vereisungskurven. Die Antarktiskurven sind bedeutend ausgeglichener als die Grönlandkurve. Weiters zeigen die Kurven, daß auf der nördlichen Hemisphäre der Übergang vom Glazial zum Postglazial zugleich mit einem Wechsel von einem extrem kontinentalen zu einem maritimen (= ozeanischen) Klima verbunden war, wie er durch das Abschmelzen der Eisschilde in Nordamerika und Europa verständlich wird (s. JOHNSEN, DANSGAARD, CLAUSEN & LANGWAY 1972).

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Auswertung der Ergebnisse für Gegenwart und Zukunft: Nach den obigen Befunden befinden wir uns gegenwärtig in einer Warmzeit einer kryogenen Periode. Die bisher nicht diskutierte Frage ist jedoch, handelt es sich um ein Interglazial oder ein Interstadial? Sie wird je nach Definition der beiden letztgenannten Begriffe verschieden beantwortet. Nach Rh. W. FAIRBRIDGE (1972) befinden wir uns derzeit in einem Interglazial. Damit steht die Feststellung in Widerspruch, daß zu Interglazialzeiten der arktische Ozean eisfrei gewesen ist und auch das Klima günstiger war als gegenwärtig. Andrerseits übertrifft die Dauer des Postglazials jene der aus dem Jungpleistozän bekannt gewordenen Interstadiale (z. B. Amersfoort, Brörup, Stillfried B) ganz wesentlich. Wenn also auch die Frage, ob Interstadial oder Interglazial derzeit nicht endgültig beantwortet werden kann, so dürfte doch kein Zweifel darüber bestehen, daß auf die gegenwärtige Warmzeit wieder eine Kaltzeit folgt, vorausgesetzt, daß die Klimaentwicklung ihren „natürlichen" Verlauf nimmt.

Verschiedentlich sind auch Berechnungen über den Beginn der nächsten Kaltzeit angestellt worden, die nach W. A. MÖRNER (1972) in ca. 19.000 Jahren einsetzen wird, nach J. T. HOLLIN (1972) hingegen schon überfällig ist (vgl. dazu auch DANSGAARD, JOHNSEN, CLAUSEN & LANGWAY 1972, FLOHN 1973).

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Zusammenfassung: Kryogene Perioden lassen sich ausschließlich auf terrestrische Ursachen zurückführen. Die Annahme außerirdischer Ursachen (z. B. Schwankungen der Sonnenstrahlung, vorübergehende Verminderung der Sonnenstrahlung durch Dunkelwolken bzw. kosmischen Nebel) ist nicht erforderlich.

Voraussetzung für die Entstehung kryogener bzw. akryogener Perioden sind einerseits die Hydrosphäre und ihre physikalischen Eigenschaften (z. B. keine Eiskappenbildung im offenen Meer; Albedowirkung von Schnee- und Eisflächen), andererseits Kontinentalverschiebungen, wie sie durch das „sea-floor spreading"-Konzept bzw. durch paläomagnetische Befunde erwiesen bzw. gesichert sind. Kryogene Perioden sind Zeiten mit ± mächtigen Eiskappen im Polbereich. Diese entstehen nur, wenn sich zumindest ein Kontinent im Polbereich befindet (= Polar-Koinzidenztheorie von FAIRBRIDGE) und zugleich ein Ozean als Feuchtigkeitsspender vorhanden ist. Entsprechend der Lage des Gondwanapoles im Paläozoikum herrschten auf dem damaligen Südkontinent glaziale Verhältnisse, die durch die zeitweise und gebietsweise Überflutung in Form epikontinentaler Meere zumindest abgeschwächt waren. Das Mesozoikum hingegen wird als akryogene Periode verständlich, da während dieser Zeit beide Pole im Bereich offener Ozeane lagen, somit Eiskappen und

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

damit polare Klimabereiche fehlten. Lediglich an der Kreide-Tertiärwende bzw. im ältesten Tertiär scheint eine Klimaverschlechterung eingetreten zu sein, als der Pazifikpol in den arktischen Ozean „einwanderte". Durch die Drift der Antarktis in den Südpolbereich im Laufe des Tertiärs und der Trennung von Australien im Eozän kommt es zur zirkumantarktischen Strömung und damit zu einer zunehmenden Vergletscherung des antarktischen Kontinentes und als Folgen davon zu einer weltweiten Klimaverschlechterung, die ihren Höhepunkt im glazialen Pleistozän erreichte.

Der Wechsel von Kalt- und Warmzeiten innerhalb einer kryogenen Periode (z. B. Pleistozän) ist durch autozyklische Prozesse bedingt, über deren Ursachen (z. B. WILSON-HOLLIN'sche surging-Hypothese mit der Antarktis als Motor; EWING-DONN'sche Hypothese mit dem Golfstrom als Auslöser; KVASOV'sche Hypothese mit Island-Färöer-Schwelle zwischen Nordatlantik und Skandik bzw. arktischem Ozean als Auslöser; „sea-floor spreading" im arkto-skandinavischen Bereich am Ende des Tertiärs als Anlaß) noch diskutiert wird. Periodische Klimaschwankungen sind zwar nachweisbar, spielen jedoch für den Wechsel von Kalt- und Warmzeiten keine Rolle.

Das Holozän entspricht einer Warmzeit innerhalb einer kryogenen Periode, deren Bewertung (Interglazial oder Interstadial) nicht einheitlich erfolgt.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Literatur

ADDICOT, W. O., 1970: Latitudinal gradients in Tertiary molluscan faunas of the Pacific coast. — Palaeogeogr., Palaeoclimat. & Palaeoecol. **8**, 287—312, Amsterdam.

AMPFERER, O., 1906: Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. — Jb. Geol. R.-Anst. **56**, 538—622, Wien.

ARKELL, W. J., 1956: Jurassic geology of the world. — 1—806, London (Oliver & Boyd).

ARMSTRONG, R. L., W. HAMILTON & G. H. DENTON, 1968: Glaciation in Taylor Valley, Antarctica, older than 2.7 million years. — Science **159**, 187—188.

BANDY, O. L., 1960: The geological significance of coiling ratios in the foraminifer *Globigerina pachyderma* (Ehrenberg) — J. Paleont **34**, 671—681.

BANDY, O. L., R. E. CASEY & R. C. WRIGHT, 1972: Late Neogene Planktonic zonation, magnetic reversals, and radiometric dates, Antarctic to the tropics. — Antarctic Res. Ser. **15**, 1—26, Washington.

BEAUVAIS, L., 1973: Upper Jurassic hermatypic corals. — In: HALLAM, A. (ed.): Atlas of Palaeobiogeography, 317—328, Amsterdam (Elsevier).

BOUCOT, A. J. & J. G. JOHNSON, 1973: Silurian Brachiopods. — In: HALLAM, A. (ed.): Atlas of Palaeobiogeography, 59—65, Amsterdam (Elsevier).

BOWEN, R., 1961: Oxygen isotope palaeotemperature measurements on Cretaceous Belemnoidea from Europe, India and Japan. — J. Paleont. **35**, 1077—1084, Tulsa.

BRENNON, P., 1972: The geology of Madagascar. — Monogr. Biol. **21**, 27—86, The Hague.

BRIDEN, J. C., 1970: Palaeomagnetic Polar wander curve for Africa. — In: RUNCORN, S. K. (ed.): Palaeogeophysics, 277—289, London (Acad. Press).

BROOKS, C. E. P., 1950: Climate through the Ages. — 2. ed. 1—395, London (Ernest Benn Ltd.).

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

BROWN, D. A., K. S. W. CAMPBELL & K. A. W. CROOK, 1969: The geological evolution of Australia and New Zealand. — X + 409, Oxford-London (Pergamon Press).

BULLARD, E., J. E. EVERETT & A. G. SMITH, 1965: The fit of the continents around the Atlantic. — Philos. Trans. Roy. Soc. London (A) **258**, 41—51, London.

CREER, K. M., B. J. J. EMBLETON & D. A. VALENCIO, 1970: Triassic an Permo-Triassic data for S-America. — Earth Planet. Sci. Lett. **8**, 173—178. Amsterdam.

CROWELL, J. C. & L. A. FRAKES, 1970: Phanerozoic glaciation and the causes of ice ages. — Amer. J. Sci. **268**, 193—224, New Haven.

CURRY, R. R., 1966: Glaciation about 3,000.000 years ago in the Sierra Nevada. — Science **154**, 770—771, Washington.

DANSGAARD, W., S. J. JOHNSEN, H. B. CLAUSEN & C. C. LANGWAY, 1970: Ice cores and palaeoclimatology. — In: OLSSON, I. U. (ed.): Radiocarbon dating and absolute chronology. — Nobel Symp. **12**, Uppsala 1969, 337—348, Stockholm (Almqvist & Wiksell).

DANSGAARD, W., S. J. JOHNSEN, H. B. CLAUSEN & C. C. LANGWAY, 1971: Climatic record revealed by the Camp Century ice core. — In: TUREKIAN, K. K. (ed.): The Late Cenozoic glacial ages. 37—56, New Haven (Yale Univ. Press).

DANSGAARD, W., S. J. JOHNSEN, H. B. CLAUSEN & C. C. LANGWAY, 1972: Speculations about the next glaciation. — Quatern. Res. **2**, 396—398, Washington.

DENTON, G. H. & R. L. ARMSTRONG, 1969: Miocene-Pliocene glaciations in Southern Alaska. — Amer. J. Sci. **267**, 1121—1142, New Haven.

DENTON, G. H., R. L. ARMSTRONG & M. STUIVER, 1969: Histoire glaciaire et chronologie de la région du détroit de Mc Murdo, Sud de la Terre Victoria,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Antarctique. — Rev. géogr. phys. & géol. dynam. **11**, 265—278.

DENTON, G. H., R. L. ARMSTRONG & M. STUIVER, 1971: The Late Cenozoic glacial history of Antarctica. — In: TUREKIAN, K. K. (ed.): The Late Cenozoic glacial ages. 267—306. New Haven (Yale Univ. Press).

DIETZ, R. S., 1961: Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. — Nature **190**, 854—857, London.

DIETZ, R. S. & W. P. SPROLL, 1970: Fit between Africa and Antarctica: a continental drift reconstruction. — Science **167**, No. 3925, 1612—1614, Washington.

DILLEY, F. C., 1973: Cretaceous larger foraminifera. — In: HALLAM, A. (ed.): Atlas of Palaeobiogeography, 403—419, Amsterdam (Elsevier).

DORMAN, F. H., 1966: Australian Tertiary paleotemperatures. — J. Geol. **74**, 29—61, Chicago.

DOUMANI, G. A. & W. E. LONG, 1962: The ancient life in the Antarctic. — Sci. Amer. **207**, 168—180, Washington.

DUNN, P. R., B. P. THOMSON & K. RANKAMA, 1971: Late Pre-Cambrian glaciation in Australia as a stratigraphic boundary. — Nature **231**, No. 5304, 498—502, London.

EINARSSON, T., D. M. HOPKINS R. R. DOELL, 1967: The stratigraphy of Tjörnes, Northern Iceland, and the History of the Bering Land Bridge. — In: HOPKINS, D. M. (ed.): The Bering Land Bridge. 312—325, Stanford (Univ. Press).

ELLIOT, D. H., 197.: In: ADIE, R. J. (ed.): Antarctic Geology and geophysics. — Oslo (Universitetsforlaget).

EMILIANI, C., 1966: Paleotemperature analysis of Caribbean cores P 6304—8 and P 6304—9 and a generalized temperature curve for the past 425 000 years. — J. Geol. **74**, 109—126, Chicago.

EMILIANI, C. & J. GEISS, 1959: On glaciations and

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

their causes. — Geol. Rundschau **46,** 576—601, Stuttgart.

EWING, M. & W. L. DONN, 1956/1958: A theory of Ice Ages. — Science **123,** 1061—1066, **127,** 1159—1162, Washington.

FAIRBRIDGE, R. W., 1969: Early Paleozoic south pole in Northwest Africa. — Bull. geol. Soc. Amer. **80,** 113—114, Boulder.

FAIRBRIDGE, Rh. W., 1970: An Ice Age in the Sahara. — Geotimes **15,** No. 6, 18—20, Washington.

FAIRBRIDGE, Rh. W., 1971: Upper Ordovician glaciation in Northwest Africa? Reply. — Bull. geol. Soc. Amer. **82,** 269—274, Boulder.

FAIRBRIDGE, Rh. W., 1972: Climatology of a glacial cycle. — Quatern. Res. **2,** 283—302, Washington.

FLEMING, C. A., 1963: Evidence for ecologically significant changes in climate during the post-glacial period in New Zealand. — Proc. New Zealand Ecol. Soc. **10,** 1—5, Wellington.

FLINT, R. F., J. E. SANDERS & J. RODGERS, 1971: Diamictite, a substitute term for symmictite. — Bull. geol. Soc. Amer. **71,** Boulder.

FLIRI, F., S. BORTENSCHLAGER, H. FELBER, W. HEISSEL, H. HILSCHER & W. RESCH, 1970: Der Bänderton von Baumkirchen (Inntal, Tirol). — Z. Gletscherkde. & Glazialgeol. **6,** 5—35, Innsbruck.

FLOHN, H., 1964: Grundfragen der Paläoklimatologie im Lichte einer theoretischen Klimatologie. — Geol. Rundsch. **54,** 504—515, Stuttgart.

FLOHN, H., 1969: Ein geophysikalisches Eiszeit-Modell. — Eiszeitalter & Gegenwt. **20,** 204—231, Öhringen.

FLOHN, H., 1973: Der Wasserhaushalt der Erde. Schwankungen und Eingriffe. — Verh. Ges. dtsch. Naturforscher & Ärzte, 107. Vers. München 1972, 19—27, Berlin.

FRAKES, L. A. & J. C. CROWELL, 1967: Facies and paleogeography of Late Paleozoic Lafonian

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

diamictite, Falkland Islands. — Bull. geol. Soc. Amer. **78**, 37—58, Boulder.

FRAKES, L. A. & J. C. CROWELL, 1968: Late Palaeozoic glacial facies and the origin of the South Atlantic basin. — Nature **217**, 837—838, London.

FRAKES, L. A. & J. C. CROWELL, 1970: Geologic evidence for the place of Antarctica in Gondwanaland. — Antarctic J. U. S. **5**, 67—69, Washington.

GILL, E. D., 1961: The climates of Gondwanaland in Kainozoic times. — In: NAIRN, A. E. M. (ed.): Descriptie Paleoclimatology, 332—353, New York & London (Intersci. Publ.).

GILL, E. D., 1971: The far-reaching effects of Quaternary sealevel changes on the flat continent of Australia. — Proc. Roy. Sov. Victoria **84**, 189—205, Melbourne.

GOODELL, H. G., N. D. WATKINS, T. T. MATHER & S. KOSTER, 1968: The Antarctic glacial history recorded in sediments of the Southern ocean. — Palaeogeogr., Palaeoclimat. & Palaeoecol. **5**, 41—62, Amsterdam.

GRABERT, H., 1965: Klimazeugen im Paläozoikum Brasiliens. — Geol. Rundschau **54**, 165—192, Stuttgart.

HALLAM, A. (ed.) 1973: Atlas of Palaeobiogeography. — XII + 531, Amsterdam (Elsevier Sci. Publ. Comp.).

HARLAND, W. B., 1967: Early history of the North Atlantic Ocean and its margin. — Nature **216**, 464—467, London.

HARLAND, W. B., 1969: Contribution of Spitsbergen to understanding of tectonic evolution of North Atlantic region. — Amer. Assoc. Petrol., Geol., Mem. **12**, 817—851, Tulsa.

HAYS, J. D. & N. D. OPDYKE, 1967: Antarctic radiolaria, magnetic reversals, and climatic change. — Science **158**, 1001—1011, Washington.

HAYS, J. D., T. SAITO, N. D. OPDYKE & L. H. BRUCKLE, 1969: Pliocene-Pleistocene sediments of

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

the equatorial Pacific their paleomagnetic, biostratigraphic, and climatic record. — Bull. geol. Soc. Amer. **80,** 1481—1513, Boulder.

HERMAN, Y., 1970: Arctic paleo-oceanography in Late Cenozoic time. — Science **169,** 474—477, Washington.

HESS, H. H., 1960: Evolution of ocean basins. — Report to Office of Naval Research.

HOINKES, H., 1968: Wir leben in einer Eiszeit. Neuere Ergebnisse der Eiszeitforschung. — Umschau **68,** 810—815, Frankfurt.

HOLLIN, J. T., 1965: Wilson's theory of ice ages. — Nature **208,** 12—16, London.

HOLLIN, J. T., 1972: Interglacial climates and Antarctic Ice surges. — Quatern. Res. **2,** 401—408, Washington.

HUNKINS, K., A. W. H. BÉ, N. D. OPDYKE & G. MATHIEU, 1971: The Late Cenozoic history of the Arctic Ocean. — In: TUREKIAN, K. K. (ed.): The Late Cenozoic glacial ages, 215—237, New Haven (Yale Univ. Press).

JOHNSEN, S. J., W. DANSGAARD, H. B. CLAUSEN & C. C. LANGWAY, 1972: Oxygen isotope profiles through the Antarctic and Greenland Ice sheets. — Nature **235,** No. 5339, 429—434, London.

KALJO, D. & E. KLAAMANN, 1973: Ordovician and Silurian corals. — In: HALLAM, A. (ed.): Atlas of Palaeobiogeography, 37—45, Amsterdam (Elsevier).

KING, L. C., 1958: Basic Palaeogeography of Gondwanaland during the Late Palaeozoic and Mesozoic eras. — Quart. J. geol. Soc. **114,** 47—77, London.

KING, L. C., 1961: The palaeoclimatology of Gondwanaland during the Palaeozoic and Mesozoic Eras. — In: NAIRN, A. E. M. (ed.): Descriptive palaeoclimatology, 307—331, New York (Intersci. Publ. Inc.).

KÖPPEN, W. & A. WEGENER, 1924: Die Klimate der geologischen Vorzeit. — IV + 256, Berlin (Gebr. Borntraeger).

KÜHN, O., 1949: Stratigraphie und Paläogeographie der

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Rudisten V. Die borealen Rudistenfaunen. — N. Jb. Miner. etc. B, Abh. **90**, 267—316, Stuttgart.

KUKLA, G. J., 1972: Insolation and glacials. — Boreas **1**, 63—96, Oslo.

KVASOV, D. D., 1971: Postulate einer Eiszeit-Theorie. — Eiszeitalter u. Gegenwart **22**, 178—187, Öhringen.

LAMB, H. H. & A. WOODROFFE, 1970: Atmospheric circulation during the last Ice Age. — Quatern. Res. **1**, 29—58, Washington.

LAUSE, F., 1937: Woher das Eis der Eiszeiten? — Natur & Volk **67**, 179—192, Frankfurt/M.

LOHMANN, H. H., 1965: Paläozoische Vereisungen in Bolivien. — Geol. Rundschau **54**, 161—165, Stuttgart.

LOWENSTAM, H. A. & S. EPSTEIN, 1954: Paleotemperatures of the Post-Aptien Cretaceous as determined by the oxygen isotop. method. — J. Geol. **62**, 207—248, Chicago.

MAACK, R., 1969: Kontinentaldrift und Geologie des südatlantischen Ozeans. — IV + 164, Berlin (W. de Gruyter).

MARGOLIS, S. V. & J. P. KENNETT, 1971: Cenozoic paleoglacial history of Antarctica recorded in Subantarctic deep-sea cores. — Amer. J. Sci. **271**, 1—36, New Haven.

MATTHEWS, R. K., 1972: Dynamics of the Ocean-Cryosphere system: Barbados data. — Quatern. Res. **2**, 368—373, Washington.

McELHINNY, M. W., 1973: Palaeomagnetism and plate tectonics. — Cambridge Earth Sci. Ser., X + 358, Cambridge (Univ. Press).

McKENNA, M. C., 1972: Was Europe connected directly to North America prior to the Middle Eocene? — In: DOBZHANSKY, Th., M. K. HECHT & W. C. STEERE: Evolutionary Biology **6**, 179—188, New York.

McKENZIE, D. P. & R. L. PARKER, 1967: The North Pacific: an example of tectonics on a sphere. — Nature **216**, 1276—1280, London.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

McKENZIE, D. P. & J. G. SCLATER, 1971: The evolution of the Indian Ocean since the Late Cretaceous. — Geophys. J. Roy. Astron. Soc. **24**, 437—528, Oxford.

MELNIKOV, P. I., 1973: Permafrost: Feind oder Verbündeter? — Umschau **73**, 429—434, Frankfurt/M.

MEREER, J. H., 1969: Glaciation in Southern Argentina more than two million years ago. — Science **164**, 823—825, Washington.

MILANKOVITCH, M., 1941: Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem. — Ed. spec. Serb. Akad. **133**, 1—633, Belgrad.

MÖRNER, N.-A., 1972: When will the present interglacial end? — Quatern. Res. **2**, 341—349, Washington.

MORGAN, W. J., 1968: Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. — J. geophys. Res. **73**, 1959—1982, Richmond.

NEUMAYR, M., 1883: Über klimatische Zonen während der Jura- und Kreidezeit. — Denkschr. k. Akad. Wiss., math.-naturw. Cl. **47**, 277—310, Wien.

ORTMANN, A. E., 1896: An examination of the arguments given by NEUMAYR for the existence of climatic zones in Jurassic times. — Amer. J. Sci. (4) **1**, 257—270, New Haven.

PATZELT, G., 1971: Bericht über eine glazialmorphologische Exkursionstagung in den Ostalpen vom 1. bis 6. September 1970. — Z. Geomorph. n. F. **15**, 115—120, Berlin-Stuttgart.

PENCK, A., 1906: Süd-Afrika und Sambesifälle. — Geogr. Z. **12**, 600—611.

PLUMSTEAD, E. P., 1973: The Late Palaeozoic *Glossopteris*-Flora. — In: HALLAM, A. (ed.): Atlas of Palaeobiogeography, 187—205, Amsterdam (Elsevier).

REID, R. E. H., 1967: Tethys and the zoogeography of some modern and Mesozoic Porifera. — In: ADAMS, C. G. & D. V. AGER (ed.): Aspects of Tethyan biogeography. System. Assoc. Publ. No. **7**, 171—181, London.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

SCHERMERHORN, L. J. G., 1970: Saharian ice. — Geotimes **15,** No. 10, 7—8, Washington.

SCHERMERHORN, L. J. G. & W. J. STANTON, 1963: Tilloids in the West Congo geosyncline. — Quart. J. geol. Soc. London **119,** 201—241, London.

SCHWARZBACH, M., 1968: Neuere Eiszeithypothesen. — Eiszeitalter & Gegenwart **19,** 250—261, Öhringen.

SCHWARZBACH, M., 1972: Die primäre Ursache der Eiszeiten. — Naturwiss. Rundschau **25,** H. 8, 306—307, Stuttgart.

SCHWARZBACH M., 1974: Das Klima der Vorzeit. Eine Einführung in die Paläoklimatologie. — 3. Aufl. VIII + 380, Stuttgart (Enke).

SCIENTIFIC STAFF, The, 1973: Leg 28 deep-sea drilling in the Southern Ocean. — Geotimes **18,** No. 6, 19—24, Washington.

SCIENTIFIC STAFF, The, 1973: Deep-sea, drilling in the roaring 40 S. — Geotimes **18,** No. 7, 14—17, Washington (1973 a).

SHAW, D. M. & W. L. DONN, 1968: Milankovitch radiation variations: A quantitative evaluation — Science **162,** 1270—1272, Washington.

SIMPSON G. G., 1947: Evolution, interchange, and resemblance of the North American and Eurasian Cenozoic mammalian faunas. — Evolution **1,** 218—220.

SLITER, W. V., 1972: Upper Cretaceous planktonic foraminiferal zoogeography and ecology — Eastern Pacific margin. — Palaeogeogr., Palaeoclimat. & Palaeoecol. **12,** 15—31, Amsterdam.

SMITH, A. G. & A. HALLAM, 1970: The fit of the Southern Continents. — Nature **225,** No. 5228, 139—144, London.

SMITH, A. G., J. C. BRIDEN & G. E. DREWRY, 1973: Phanerozoic world maps. — In: Organisms and continents through time. — Paleontology, Spec. Pap. **12,** 1—42, London.

STEVENS, G. R., 1963: Faunal realms in Jurassic and

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Creataceous belemnites. — Geol. Magaz. **100**, 481—497, Hertford.

STEVENS, G. R., 1973: Jurassic Belemnites. — In: HALLAM, A. (ed.): Atlas of Palaeobiogeography, 259—274, Amsterdam (Elsevier).

STRAUCH, F., 1972: Zum Klima des nordatlantisch-skandinavischen Raumes im jüngeren Känozoikum. — Z. dtsch. geol. Ges. **123**, 163—177, Hannover.

SUESS, E., 1885, 1888 u. 1909: Das Antlitz der Erde I, II, III/2 IV + 778, IV + 703, IV + 789, Prag & Leipzig (Tempsky & Freytag).

TANNER, W. F., 1968: Tertiary sea level symposium — introduction. — Palaeogeogr., Palaeoclimat. & Palaeoecology **5**, 7—14, Amsterdam.

TARLING, D. H. & S. K. RUNCORN (eds.), 1973: Implications of Continental Drift to the Earth Sciences. I + II. — XVI + 1184 S., London & New York (Acad. Press).

TOIT, A. L. du, 1937: Our wandering continents. A hypothesis of continental drifting. — XIII + 366, London (Oliver & Boyd).

TOURTELOT, H. A. & R. O. RYE, 1969: Distribution of oxygen and carbon isotopes in fossils of Late Cretaceous age, Western Interior region of North America. — Bull. geol. Soc. Amer. **80**, 1903—1922, Boulder.

VALENCIO, D. A. & J. F. VILAS, 1969: Age of the separation of South America and Africa. — Nature **223**, 1353—1354, London.

VOIGT, E., 1965: Zur Temperaturkurve der oberen Kreide in Europa. — Geol. Rundschau **54**, 270—317, Stuttgart.

WEERTMAN, J., 1964: Rate of growth or shrinkage of non-equilibrium ice sheets. — J. Glaciology **38**, 145—158.

WEGENER, A., 1929: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Die Wissenschaft **66**, 4. Aufl., Vieweg & Sohn, Braunschweig.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

WILSON, A. T., 1964: Origin of ice ages: an ice shelf theory for Pleistocene glaciation. — Nature **201**, 147—149, London.

WILSON, J. T., 1966: Did the Atlantic close and then re-open? — Nature **211**, No. 5050, 676—681, London.

ZIEGLER, B., 1965: Boreale Einflüsse im Oberjura Westeuropas. — Geol. Rundschau **54**, 250—261, Stuttgart.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1975

Band/Volume: 114_115

Autor(en)/Author(s): Thenius Erich

Artikel/Article: Eiszeiten - einst und jetzt. Erscheinungen, Voraussetzungen und vermutliche Ursachen. 1-57