

akzent

Günter Krumbiegel

# Tiere und Pflanzen der Vorzeit





---

Günter Krumbiegel

**Tiere und Pflanzen  
der Vorzeit**

---

Urania-Verlag Leipzig Jena Berlin

Illustrationen: Adelhelm Dietzel

*1. Auflage*

*1.–30. Tausend. Alle Rechte vorbehalten*

© *Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin*

*Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig, 1977*

*VLN 212-475/23/77 · LSV 1479*

*Lektor: Christel Köhler*

*Umschlagreihenentwurf: Helmut Selle*

*Typografie: Hans-Jörg Sittauer*

*Printed in the German Democratic Republic*

*Gesamtherstellung: INTERDRUCK*

*Graphischer Großbetrieb Leipzig – III/18/97*

*Best.-Nr. 653 458.5*

*DDR 4,50 M*

---

# Inhalt

---

## **Einführung 7**

### **Was uns Fossilien verraten 9**

Fossilien – Lebewesen der Vorzeit 9

Wie Fossilien entstehen 14

Ein Fossil wird gefunden 20

Fossilien – Klimaanzeiger der Vorzeit 21

Lebende Fossilien 25

### **Das früheste Leben auf der Erde 31**

Sauerstoff – »Auslöser« der Entfaltung des Lebens 31

Die Algenzeit – älteste Lebensspuren 36

Erste nachweisbare Vielzeller 40

Die Zeit der marinen Wirbellosen 44

Erste Landpflanzen an der Grenze Silur/Devon 52

Zeitalter der Kieferlosen und der Fische 56

### **Neue Lebensräume 65**

Amphibien erobern das Land 65

Die Steinkohlenwälder des Karbons 68

Erdmittelalter – Riesen der Vorzeit 73

Reptilien erobern den Luftraum 82

Die Blütezeiten der Kopffüßer 87

### **Die Evolution auf dem Lande 92**

Erdmittelalter und Erdneuzeit im Pflanzenreich 92

Siegeszug der Säugetiere 94

Die Pflanzen- und Tierwelt der Braunkohlenwälder 106

Die Lebewelt des Eiszeitalters 115

Der Ursprung des Menschen 121

---

# Einführung

---

Die Paläontologie als die Wissenschaft vom Leben der Vorzeit verfolgt das Ziel, die Geschichte des Lebens der vorzeitlichen Pflanzen- und Tierwelt zu erforschen. Unter »Vorzeit« im Hinblick auf die Lebewelt wird die Zeitspanne verstanden, die bei etwa 9000–10 000 Jahren v. u. Z. beginnt und bis etwa 3,5 Milliarden Jahre vor Beginn der Menschheitsgeschichte dauert, dem Zeitpunkt der Überlieferung erster Zeugnisse des Lebens. Vermutlich aber ist das Leben auf der Erde beträchtlich älter. Die Paläontologie ist somit eine echte historische Naturwissenschaft, die aufs engste mit den geologischen Wissenschaften (Geologie, Petrographie, Mineralogie) verbunden ist. Gleichermaßen liefert aber die Paläontologie die historische Grundlage für die Biologie.

Für die Rekonstruktion der Entwicklungsgeschichte der heutigen Lebewelt dienen die Versteinerungen oder Fossilien als die wichtigsten historischen Dokumente. Durch eine genaue Analyse mit Hilfe von Vergleichsuntersuchungen an heutigen Naturerscheinungen lassen sich fossile Lebensspuren deuten. Hierbei bedient man sich häufig des Aktualitätsprinzips von Charles Lyell (1787–1875), des wichtigsten Forschungsprinzips der Geologie. Dieses Prinzip besagt, daß sich das erdgeschichtliche Geschehen grundsätzlich unter gleichartigen oder ähnlichen Bedingungen vollzog wie in der Gegenwart. So ist es dem Paläontologen möglich, mit Hilfe des Fossilmaterials der Toten- und Grabgemeinschaften in den geologischen Schichten der Erde das Buch der Erdgeschichte aufzuschlagen und die einstigen Lebensgemeinschaften gegenwärtig werden zu lassen.



---

# Was uns Fossilien verraten

---

## Fossilien – Lebewesen der Vorzeit

Fossilien sind, allgemein gesagt, Überreste (Hartteile und organische Substanzen) sowie Lebensspuren (Fährten, Fraßspuren) von Lebewesen der geologischen Vergangenheit. Der Name Fossil ist abgeleitet vom lateinischen *fossilis* = ausgegraben. Das Buch, in dem sich erstmals Darstellungen von Fossilien finden und in dem der Name »Fossil« im heutigen Sinne angewandt wird, ist das Werk »De rerum fossilium« des Schweizer Gelehrten Conrad Gesner aus dem Jahre 1565. Als ältester Buchtext, in dem der Begriff »Fossil« benutzt wird, gilt die Schrift »De natura fossilium« des Arztes und Bergmanns Georgius Agricola (1494–1555). Allerdings bezeichnete man damals nicht nur die Reste von Organismen als Fossil, sondern alles, was »beim Graben« gefunden wurde, also auch Bodenschätze oder vorgeschichtliche Stein- und Knochenwerkzeuge. Für die »Figurensteine« aus den Erdschichten tauchte dann im 17. Jahrhundert ein eigenständiger Name auf: Man nannte sie nun Petrefakten, d. h. Versteinerungen. Erst seit Beginn des 20. Jahrhunderts hat sich der heute noch gültige Begriff Fossilien durchgesetzt.

Mit der Frage nach der Natur der Fossilien beschäftigt sich der Mensch bereits seit der Altsteinzeit. Das zeigen

*Pleistozänlandschaft in Nordamerika. Zwei Großfaultiere (Nothotherium) werden von einem Säbelzahn tiger (Smilodon) angegriffen. Im Vordergrund das ausgestorbene Riesengürteltier Glyptodon. Die eiszeitlichen Großsäuger sind besonders gute Klima- und Biotopanzeiger (verändert nach Ovenden).*

fossile Schmuckschnecken zahlreicher alt- und jungsteinzeitlicher Stationen in Mitteleuropa, z. B. in der ČSSR, in Frankreich und Österreich. Auch Bernstein, ein fossiles Harz, spielte als Handelsobjekt bei diesen Menschen eine wichtige Rolle.

Im Altertum wurden bei den Griechen die Fossilien oft schon richtig als Reste von einstigen Meerestieren auf dem heutigen Festland erkannt und entsprechend beurteilt, z. B. von Xenophanes von Kolophon (um 570–480 v. u. Z.), Herodot (um 484–425 v. u. Z.) und Xanthos aus Sardes (um 400 v. u. Z.). Aristoteles (384–322 v. u. Z.) und seine Anhänger dagegen betrachteten die Versteinerungen als »verunglückte Urzeugen«, die durch eine »schöpferische Kraft« entstanden seien. Auch die Römer, wie Plinius der Ältere (23–79 u. Z.), vermehrten den griechischen Wissensschatz um die Fossilien nur wenig.

So wurden die »Figurensteine« lange Zeit als Naturspiele oder Zeugen der Sintflut angesehen. Wegen der Ähnlichkeit im Aussehen der Fossilien mit bekannten Gegenständen kam es häufig zu Irrdeutungen.

Nur wenige geniale Menschen, als erster seit der Antike Leonardo da Vinci (1452–1519), erkannten im Mittelalter fossile Muscheln in der Lombardei als Reste vorzeitlicher Tiere.

Einige Beispiele sollen die mannigfaltigen Deutungen von Fossilien im Volksglauben zeigen.

Im permischen Kupferschiefer von Mansfeld-Eisleben und Ilmenau-Manebach/Thür. kommen oft dezimetergroße, in Kupfererz erhaltene Abdrücke vor, die an »Halme und Stengel von und an Kornähren« erinnern. In Wirklichkeit aber sind es Zweigreste von Nadelbäumen oder Schachtelhalmen. In der gleichen Schicht, jedoch seltener, findet man die sogenannte »Richelsdorfer Kinderhand«, in Wahrheit Vordergliedmaßen des Reptils *Protosaurus speneri*.

In den Triaskalken der Alpen treten ausgewitterte, herzförmige Gebilde auf den Schichtflächen zutage, die Rinderfährten ähneln und von den Almhirten als »versteinerte Kuhtritte« oder gar als »Zeugen der wilden Jagd« bezeichnet werden. Es sind Querschnitte von riesigen Dachsteinmuscheln oder Megalodonten.

Die folgende kurze Aufzählung der Fossilgruppen und ihre Irrdeutungen zeigt die Vielfalt der falschen Vorstellungen von diesen Naturerscheinungen im Volke: Nummuliten (Großforaminiferen) = versteinertes Geld oder Linsensteine; Rostren (dornförmige Hartteile) von fossilen Tintenfischen = Donnerkeile, Gewittersteine, Teufelsfinger, Gespensterkerzen, Schrecksteine, Luchssteine; Ammoniten (Kopffüßer) = Schlangensteine oder Ophite, Goldschnecken; Stielglieder fossiler Seelilien (Crinoiden) = Sonnenradsteine, Hyazintherlen, Wichtelsteinchen oder Bonifaziuspfennige.

Mit Knochenfunden, z. B. Backzähnen, Röhrenknochen und Schädelresten eiszeitlicher Großsäugetiere wie Mammut und Wollhaarnashorn verbindet sich eine Reihe von Sagen über einäugige Riesen und Drachen. Ähnliches gilt für die »versteinerten Wälder«, die Trümmer verkieselter Baumstämme des Nadelbaumes *Araucarioxylon*, die als Knochen und Gebeine von gewaltigen Riesen angesehen wurden.

Säugetierreste eiszeitlicher Höhlenablagerungen wurden in China als »Drachenknochen und -zähne« für medizinische Zwecke in Apotheken verkauft, und man sprach ihnen heilende Wirkung zu. Diese Aufzählung könnte erweitert werden; aber schon die wenigen Beispiele zeigen, wie sehr die Frage nach der Natur der Versteinerungen die Menschen bereits in historischer Zeit beschäftigt hat. Heute sind die Fossilien ein nicht wegzudenkendes Arbeitsmittel geowissenschaftlicher Forschung und Praxis.

Neben den echten Fossilien finden sich anorganische Gebilde, die vom Laien zwar als Fossilien angesehen werden, weil sie fossilen Resten ähneln, in Wirklichkeit aber Pseudo- oder Scheinfossilien sind. Hierzu gehören z. B. die baum-, strauch- oder moosartig verzweigten Dendriten. Sie spiegeln pflanzliche Bildungen vor, sind aber kristalline Ausscheidungen mangan- oder eisenoxidhaltiger Lösungen, die auf Klufflächen oder durch Fugen ins Gestein eingedrungen sind.

Unregelmäßig geformte mineralische Substanzen im Gestein (Konkretionen) besitzen oft fossilartiges Aussehen, wie die pleistozänen Lößkindel oder -puppen; die



Septarien (knollenförmige Gebilde aus kohlen-saurem Kalk) eines tertiären Tones täuschen ebenfalls Fossilien vor.

Schließlich gibt es auch Fossilfälschungen: von Menschenhand geschaffene Veränderungen an Fossilien oder fossilähnlichen Gebilden. Die in der Paläontologie bekanntesten Fossilfälschungen sind die »Beringerschen Lügensteine« aus dem Muschelkalk von Würzburg. Der Professor für Naturgeschichte und Medizin J. B. Beringer fand 1725 Steine mit sonderbaren Reliefs, Nachbildungen echter Versteinerungen, mit Sonnen, Sternen, Halbmonden und Steine mit hebräischen Schriftzeichen, die seine Studenten angefertigt hatten, um ihm einen Schabernack zu spielen. Er beschrieb sie und bildete sie in der umfangreichen Abhandlung »Lithographiae Wirceburgensis« 1726 ab. In einer ausführlichen Erläuterung vertrat er dann die Lehre von der »vis plastica« (schöpferische Kraft) und seine eigene Theorie von der Urzeugung aus Stein.

Eine weitere Fossilfälschung stellte der Piltown-Schädel (1911) dar, Dawsons »Morgenrötemensch« (*Eoanthropus dawsoni*). Es sollte der älteste bisher gefundene Hominidenrest sein. Dieser Fund entpuppte sich 1954 nach Überprüfung seines Alters mit der Fluortest-Methode als aus rezenten Menschenaffenknochen (Affenunterkiefer) und jüngeren menschlichen Knochenresten (Schädel eines Altmenschen) bestehend.

Auch in Kunstharz eingegossene Insekten werden mitunter noch heute als echte Bernsteininkluden (organische Einschlüsse in fossilen Harzen) ausgewiesen und als Schmuck verkauft.

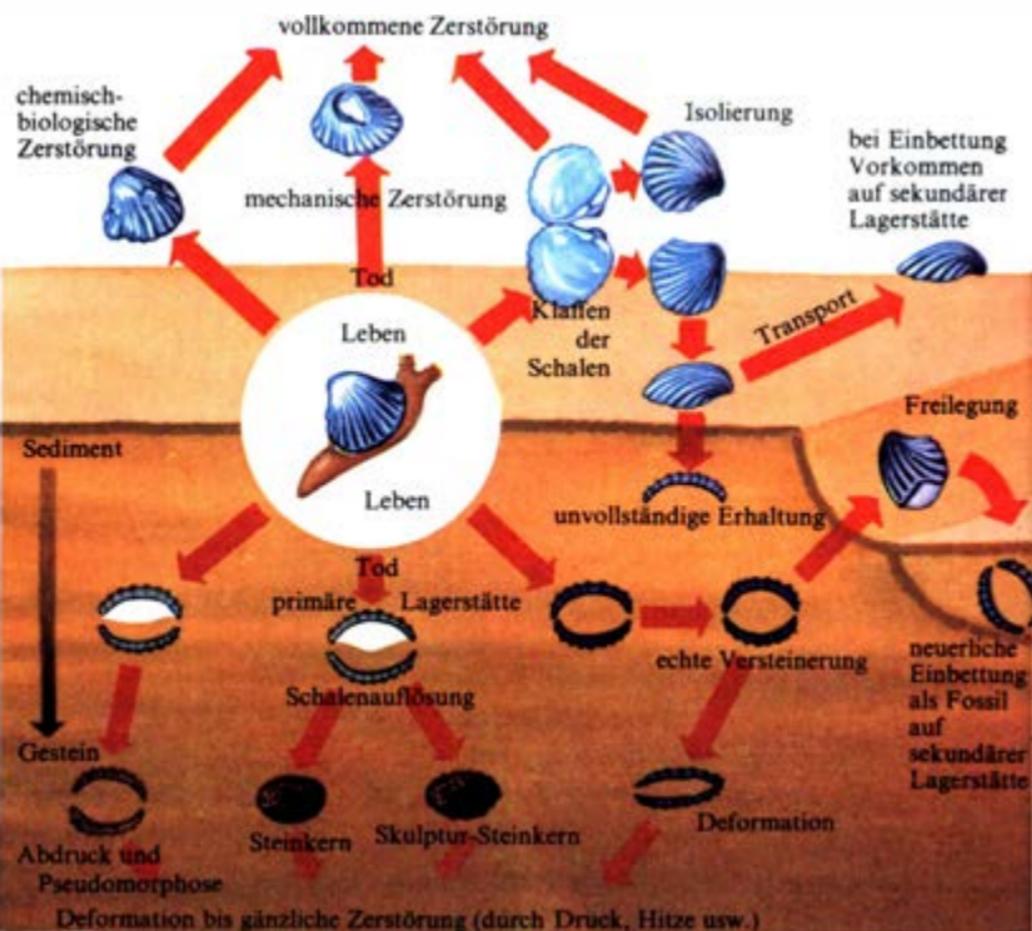
*Landschaft aus den Eiszeitwäldern Spaniens. In parkartigen Wäldern lebte bei mildem Klima der mächtige »Waldelefant« Palaeoloxodon antiquus. Er hatte drei Meter lange Stoßzähne und eine Schulterhöhe von fast vier Metern (verändert nach Ovenden).*

## Wie Fossilien entstehen

Beim Übergang eines Lebewesens aus seiner Biosphäre, dem von Lebewesen bewohnten Teil der Erde, in die Lithosphäre, die Gesteinshülle der Erde, erfolgt ein sehr vielseitiger Umwandlungsprozeß. Ausschlaggebend für die Erhaltung eines vorzeitlichen Lebewesens oder auch einzelner Teile von ihm als Fossil ist seine möglichst rasche Einbettung ins Sediment. Durch diesen Vorgang wird verhindert, daß physikalische oder biologische Vorgänge den Organismus, insbesondere die Weichteile, zerstören. Gebiete, in denen eine sehr schnelle Einbettung erfolgt, sind z. B. Flachmeere, Seen, Flußmündungen und Lagunen (Solnhofener Fossilien), Teiche, Sumpf- und Mooregebiete (Geiseltalfossilien). Günstig sind die Voraussetzungen auch in Fluß- und Höhlenablagerungen sowie in Spaltenfüllungen (paläozäne Wirbeltiere von Walbeck und Cerney/Frankreich), in Flugsanden (Säugetiere des pleistozänen Löß) und im Dauerfrostboden (sibirische Mammutfunde).

Von einem Lebewesen ist unter bestimmten Umständen alles erhaltungsfähig; in der Regel aber werden nur seine Hartteile, wie Gehäuse von Muscheln, Schnecken und Brachiopoden, Panzer von Trilobiten, Insekten und Käfern, Skelettelemente von Schwämmen und Seeigeln oder Knochen und Zähne von Wirbeltieren, überliefert.

Selbst eine rasche Einbettung schützt die Organismenreste nicht vor der Zerstörung. So gehen trotz Sedimentbedeckung die anaeroben Vorgänge – das sind die ohne Sauerstoff verlaufenden Prozesse wie z. B. die Fäulnisbildung – weiter. Die sehr komplizierten organischen Verbindungen werden dabei zerstört und zu einfacheren Stoffen abgebaut, hochmolekulare Kohlenwasserstoffverbindungen z. B. zu einfacheren Verbindungen, wie Methan, Schwefelwasserstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Wasser. Alle diese Fossilisationsprozesse brauchen sehr lange Zeit, oft Jahrtausende. In Abhängigkeit von Art, Weise und Dauer des Umwandlungsprozesses ergeben sich unterschiedliche, aber charakteristische Erhaltungszustände bei den Fossilien. Die Erhaltung hängt weiterhin auch von den geologischen Sedimentations-



*Fossilisationsschema. Entstehung von Fossilien am Beispiel einer Muschel (nach Thenius)*

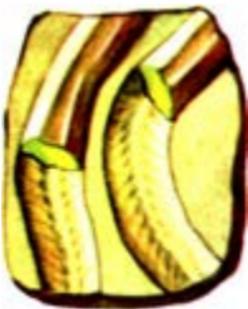
bedingungen ab, d. h. von der Fazies. Mit diesem Begriff bezeichnet man die unterschiedliche Ausbildung von Schichten gleichen Alters, die sowohl das Gestein als auch die dazugehörigen Fossilien betrifft.

Am wichtigsten ist die körperliche Erhaltung der Fossilien, man spricht dann von Körperfossilien. Hierzu gehören die Schalen der Wirbellosen, die Knochen oder Zähne der Wirbeltiere, im wesentlichen also Hartteile. Die leicht zerstörbaren Weichteile dagegen, wie Muskelzellen, Bindegewebe oder Gefäßreste, erhalten sich nur selten und unter ganz besonders günstigen Fossilisations-

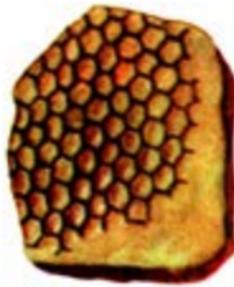
bedingungen. Voraussetzung sind z. B. geringe Säurewerte des Wassers oder – durch Zufuhr von Kalkwässern – neutrale Verhältnisse. Gut konservierte Fossilien findet man auch im Bernstein, in Salinarablagerungen («natürliche Einpökelung») und im Eis («natürliche Tiefkühlung» bzw. »Einfrostung«).

Die Existenz fossiler Lebewesen läßt sich ebenfalls durch Funde organischer Substanzen belegen. Solche Stoffe werden als Chemofossilien bezeichnet, ihre Erforschung gehört zum Arbeitsgebiet der Geochemie bzw. der Paläobiochemie. So wurden unter anderem sogar an präkambrischen Fossilien Aminosäuren, Eiweißverbindungen (Albumine) und organische Farbstoffe nachgewiesen. Aus dem Tertiär erhielten sich in der Braunkohle

*Typische Lebensspuren (Spurenfossilien) von Schnecken (1) und Würmern (2–6) aus der Kreide (4–6) und dem Tertiär (1–3) Europas. 1 – Scolicia, 2 – Palaeodictyon, 3 – Spirorhaphe, 4 – Helminthoida, 5 und 6 – Chondrites (nach Thenius)*



1



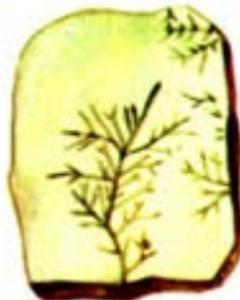
2



3



4



5



6

des Geiseltales das Blattgrün Chlorophyll (Phäophytin »a« und Chlorophyllid »a«) sowie Blutfarbstoff, Ovoporphyrin in den Krokodileiern und Koproporphyrin im Krokodilkot. Auch echte Farbstoffe in den Schuppen von Fischen blieben erhalten.

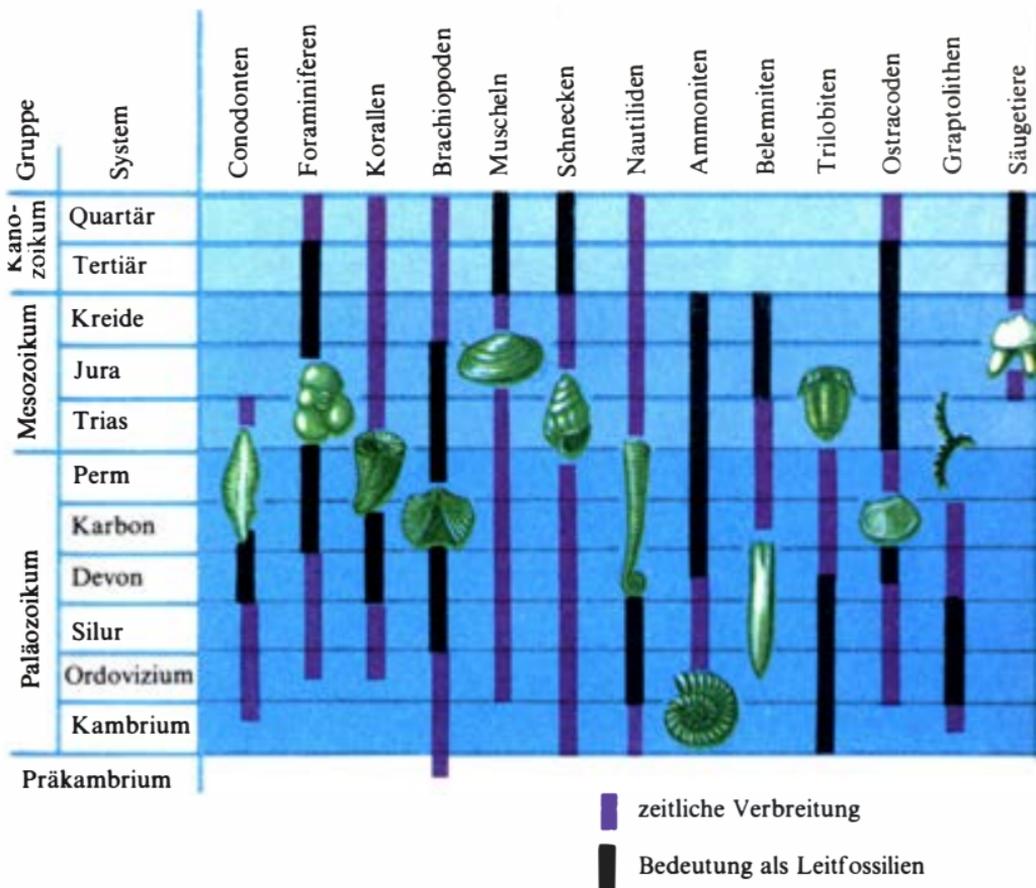
Häufiger als Körperfossilien sind in den Sedimenten Spurenfossilien zu beobachten. Hier blieb von den ehemaligen Lebewesen selbst nichts übrig, nur die Spuren ihrer Tätigkeit, ihrer Lebensäußerungen, sind sichtbar. Man unterscheidet Ruhespuren und Bewegungsspuren, wie Fährten, Kriech-, Weide- und Grabspuren. Über die Ernährungsweise geben die Freßbauten und Nahrungsreste sowie Magensteine (Gastrolithen) und Exkrementreste (Koprolithen) Aufschluß. Fortpflanzungsspuren sind z. B. Eikokons oder Nester (Dinosauriergelege in der Mongolei). Ja, selbst krankhafte Erscheinungen, wie Knochenbrüche, Karies u. a., lassen sich fossil nachweisen. Mit Hilfe solcher Funde ist eine recht genaue Untersuchung fossiler Organismen möglich. Auch den Nachbarwissenschaften Geologie, Paläogeographie und Urgeschichte helfen sie, entsprechende Beobachtungen zu deuten.

Mannigfaltig sind also die Erhaltungsformen der Fossilien, der historischen Denkmünzen der Erdgeschichte. Und wie jede Geschichtsepoche ihre charakteristischen Dokumente besitzt, so gehören auch zu den einzelnen geologischen Zeitabschnitten die für sie typischen Versteinerungen, die als Zeitmarken der relativen Altersbestimmung dienen. Diese auf bestimmte zeitliche Zonen beschränkten Fossilien nennt man Leitfossilien.

Der Leitfossilbegriff wurde von Leopold v. Buch (1774–1853) geprägt, ist aber in seiner inhaltlichen Bedeutung schon älter und geht auf die Engländer Martin Lister (1638–1711) und John Woodward (1665–1728) zurück. Die Erkenntnis der Horizontbeständigkeit bestimmter Fossilien und die damit gegebene praktische Möglichkeit, Schichtfolgen über weite Räume miteinander zu vergleichen, ist das Verdienst des englischen Ingenieurs William Smith (1769–1839), des »Schichten-Smith«. Er verhalf dem »Leitfossilprinzip« innerhalb der stratigraphischen Paläontologie (Biostratigraphie, auch Bio-

chronologie) zum Durchbruch. Daneben spielt seit Nicolaus Steno (1638–1686), einem Dänen, das »Lagerungsgesetz« eine wichtige Rolle. Es besagt, daß in ungestörten Sedimenten die geologisch ältesten Schichten stets die untersten sind und von den jüngeren Schichten überlagert werden. Innerhalb der Schichten gibt es eine regelmäßige Abfolge tierischer und pflanzlicher Fossilien. Hierauf beruht in seinen Grundzügen das in den Jahren 1820–1850 aufgestellte, noch heute gültige stratigraphische System, die sogenannte »Systemtabelle«. Der Wechsel in der Zusammensetzung fossiler Faunen und Floren und die Annäherung an diejenigen der Erdneuzeit (Känozoikum) spiegelt die stammesgeschichtliche Evolution der Organismen im Laufe der Erdgeschichte wider. Leitfossilien sind Organismengruppen, die drei Bedingungen erfüllen sollen, um als solche Zeitmarken dienen zu können: 1. rasche morphologische Veränderungen innerhalb eines kurzen geologischen Zeitraumes, d. h. Kurzlebigkeit und dadurch eine geringe vertikale Verbreitung; 2. zahlenmäßig große Häufigkeit im Auftreten und 3. weite regionale, also horizontale Verbreitung auf der Erde im gleichen Lebensraum.

Die wichtigsten und klassischen Leitfossilien sind bei den Großfossilien Brachiopoden (Armfüßer), Echinodermen (Stachelhäuter), Graptolithen (»Schriftsteine«), Trilobiten (Dreilappkrebse), Nautiliden, Ammoniten und Belemniten (Kopffüßer) sowie Reptilien (Kriechtiere); auch die Mammalier (Säugetiere) sind besonders zeitempfindlich während ihrer Entwicklung. In jüngster Zeit haben die Mikro- oder Kleinfossilien in der paläontologischen Praxis – besonders für die Erdöl-erkundung – zunehmend an Bedeutung gewonnen, so die Foraminiferen (Kammerlinge), Ostracoden (Muschelkrebse), Diatomeen (Kieselalgen) und Conodonten (winzige Skelettelemente von Vertretern eines bis jetzt unbekanntes Stammes der Chordatiere, eines Tierstammes mit Achsenskelett). Alle diese Tiergruppen spielen bei der relativen Altersdatierung ehemaliger Meeres- und Landablagerungen eine wichtige Rolle. In den festländischen Sedimenten, z. B. den Kohleablagerungen und Salzschiefern, dienen auch pflanzliche



*Die wichtigsten Fossilgruppen und ihre Bedeutung als Leitfossilien im erdgeschichtlichen Zeitablauf (nach Kuhn-Schnyder und Thenius)*

Reste, wie Sporen, Pollen oder Blatt- und Holzreste, als Leitfossilien.

Die zeitlich kleinste stratigraphische, durch Fossilien abgrenzbare Grundeinheit ist die Zone oder Biozone. Sie wird gekennzeichnet durch die Lebensdauer einer bestimmten Art, einer sogenannten Fossilleitart, deren Existenzdauer zwischen 300 000 Jahren und einer Million Jahre, mitunter aber auch mehr, schwanken kann. Heute werden vielfach mehrere Arten zu Leitfaunen und Leitfloren zusammengefaßt. Diese Ahnenreihen von Organismen mit ihren artlich voneinander verschiedenen Angehörigen, wobei die jüngeren Arten

die älteren ablösen, stellen ideale Leitfossilien in der Paläontologie dar. Sie bilden sozusagen die Seitenzahlen im Buch der Erdgeschichte.

## Ein Fossil wird gefunden

Die Fossilisation vollzieht sich in erdgeschichtlichen Zeiträumen, oft über Jahrmillionen hinweg. Bei diesen Vorgängen, die vom Tode eines Lebewesens an auf dieses einwirken und es zum Bestandteil der Erdkruste werden lassen, entstehen die verschiedenartigsten Erhaltungszustände. Neben dem bereits genannten Überdauern der Hartteile treten als charakteristische Erhaltungszustände noch Steinkerne sowie Abdrücke und Pseudomorphosen auf. Bei den echten Fossilien werden die Hartgebilde des in das Sediment eingebetteten Organismus mit anorganischen Substanzen durchsetzt, Mineralsubstanzen treten an die Stelle der ursprünglichen organischen Substanzen (Weichteile u. a.). Oft wandeln sich die ursprünglichen Skelettsubstanzen in stabilere Verbindungen um, z. B. Aragonit in Kalzit. Solche anorganischen Impregnationsverbindungen sind z. B. Karbonate (Kalzit, Dolomit), Erzlösungen in Form von Silber-, Blei-, Kupfer-, Zink-, Eisen- und Schwefelverbindungen oder die »Kieselsäure« bzw. das Siliziumdioxid (Verkieselungen). Dadurch werden die ehemaligen Skeletteile oft erheblich schwerer. Wenn auf diese Weise Zellhohlräume ausgefüllt und Stützsubstanzen ersetzt werden, spricht man von Intuskrustationen (lat. *intus* = innen, *crusta* = Rinde). Fällt dagegen ein Mineral um Fossilien herum oder an ihnen aus und umhüllt sie, heißt dieser Vorgang Inkrustation (lat. *incrustus* = mit einer Kruste umgeben).

Für die Erhaltung pflanzlicher Fossilien sind die Huminsäuren und die Bitumina (Erdöl, Asphalt, Erdwachs) wichtig. Bei der Inkohlung z. B. erfolgt eine stufenweise Umwandlung der im pflanzlichen Organismus auftretenden Kohlenstoff-, Sauerstoff-, Wasserstoff- und Stickstoffverbindungen unter Luftabschluß sowie unter Druck und Wärme zu Gasen und instabilen Kohlenwasserstoffen. Dabei reichert sich Kohlenstoff an.

Dieser Fossilisationsprozeß (Holz – Torf – Braunkohle – Steinkohle – Anthrazit) spielte in der Natur vor allem bei der Lagerstättenbildung der karbonischen Steinkohlen und der tertiären Braunkohlen eine besonders wichtige Rolle.

Wird der Hohlraum eines Fossils mit Einbettungsmaterial (Sediment) ausgefüllt, und dieses verfestigt sich, so entsteht ein Steinkern. Seine Beschaffenheit hängt ab von der Korngröße der Füllmasse – je feiner diese ist, desto mehr Einzelheiten sind erkennbar.

Steinkerne von Muscheln, Schnecken und Ammoniten finden sich am häufigsten; bei fossilen Pflanzen treten sie zahlreich bei Schachtelhalmen (Calamiten) und Cordaiten (Nacktsamer) auf. Eine Besonderheit sind die »Versteinerten Gehirne«, d. h. Abformungen der Furchen und Wülste des Gehirns von Wirbeltieren.

Sind von einem fossilen Organismus die Hartteile nachträglich aufgelöst und weggeführt worden, so daß ein Hohlraum entstanden ist, dann findet man auf dessen Innenseite gelegentlich die negative äußere Form des ehemaligen Lebewesens. Diese Form der Erhaltung heißt Abdruck.

Nur die wichtigsten Erhaltungszustände konnten hier genannt werden, in den Erdschichten treten uns noch weit mehr – auch in kombinierter Form – entgegen; sie lassen die Fossilien oft in sehr ansprechender Gestalt erscheinen.

## Fossilien – Klimaanzeiger der Vorzeit

Die Paläoklimatologie beschäftigt sich mit der Erforschung und Deutung der Klimageschichte der Erde, also mit den vorzeitlichen Witterungs- und Klimaverhältnissen.

Nur indirekt, unter anderem auch durch ganz bestimmte fossile Reste der Pflanzen- und Tierwelt, sind dabei Anhaltspunkte über die Art des Klimas und über die Klimaveränderungen im erdgeschichtlichen Ablauf zu gewinnen. Wieder spielt dabei das Aktualitätsprinzip eine entscheidende Rolle.

Zwischen der organischen Entwicklung der Pflanzen-

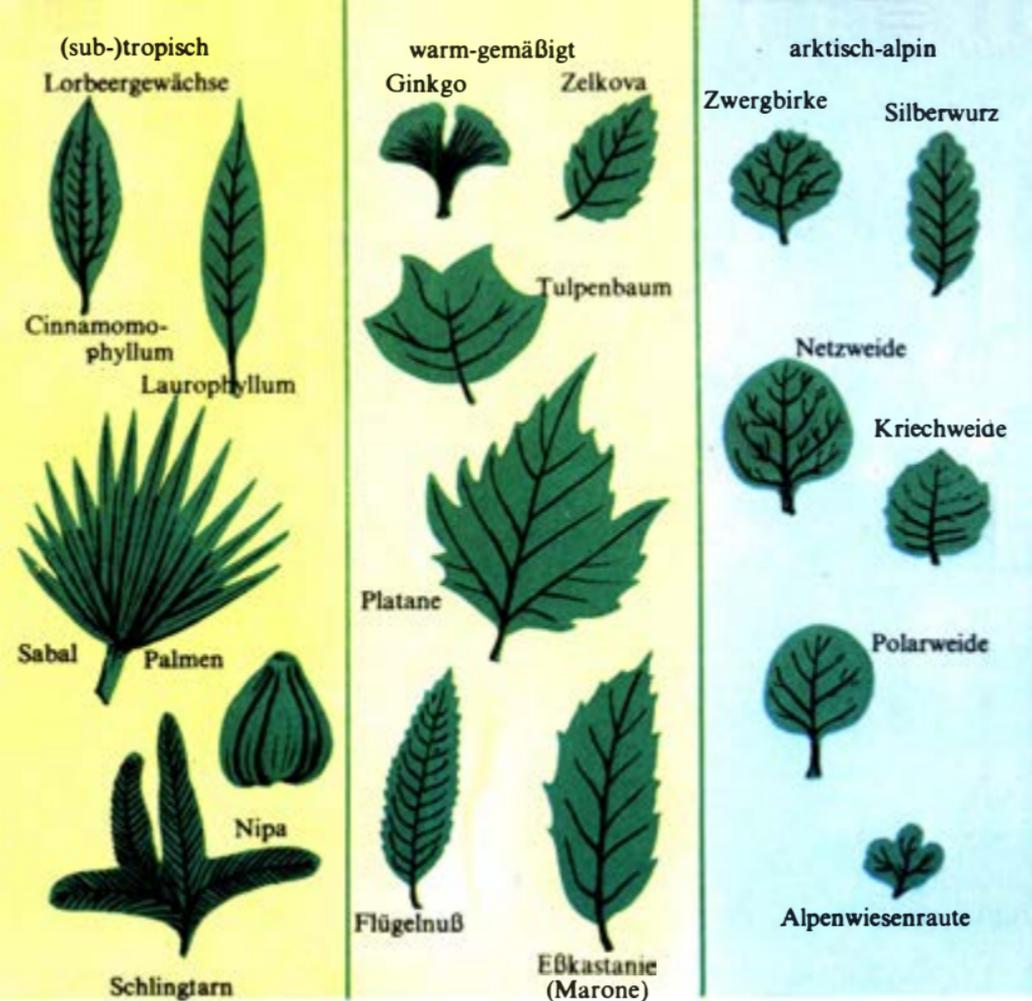
und Tierwelt und dem Klima der Vorzeit bestehen ursächliche Zusammenhänge. Vielleicht sind Strahlungsenergie und Strahlungsschwankungen der Sonne die Ursachen der Klimaveränderungen. Vereinzelt führt man die Größenzunahme der Säugetiere im Tertiär auf eine allgemeine Klimaverschlechterung zurück. Auch Klimaveränderungen durch Polwanderungen könnten die Ursache für die Anpassung terrestrischer Wirbeltierfaunen, beispielsweise in den Vereisungsgebieten und den steppenartigen Randgebieten des Pleistozäns, sein.

Insgesamt erlauben diese Annahmen und Hypothesen keine widerspruchsfreien Erklärungen der irdischen Klimageschichte. Beweise für die Beziehungen zur Entwicklung der Organismenwelt sind recht lückenhaft. Von einer wirklichen Kenntnis der ursächlichen Zusammenhänge ist man noch weit entfernt. Sicher haben sowohl extraterrestrische als auch terrestrische Faktoren bei den Klimaschwankungen mitgewirkt und damit Veränderungen der pflanzlichen und tierischen Organismenwelt auf recht komplexe Weise zustandegebracht.

Viele Fossilien geben der Paläoklimatologie wertvolle Hinweise, vor allem auf das Klima und die Wassertiefe. Diese biologischen Klimazeugen werden daher oft als »fossile Thermometer« bezeichnet. Das Verhältnis der Sauerstoffisotope  $0^{16}:0^{18}$  in fossilen Kalkskeletten ermöglicht beispielsweise Aussagen über die absolute Wassertemperatur zur Bildungszeit dieser Körperelemente.

In den geologischen Systemen Karbon und Tertiär stellen die Pflanzenfossilien, z. B. auf Grund der Blattgröße oder ihrer systematischen Zugehörigkeit, die häufigsten und charakteristischsten Klimazeugen. So haben die tertiären Florenfunde des Geiseltales und anderer Braunkohlenlagerstätten mit Blättern, Früchten, Samen, Pollen und Sporen gelehrt, daß die Pflanzen, von denen diese Reste stammen, unter subtropisch-warmem und stark wintertrockenem Klima gelebt haben. Das wäre ein Hinweis dafür, daß die Klimazonen der Erde im Alttertiär polwärts verschoben waren.

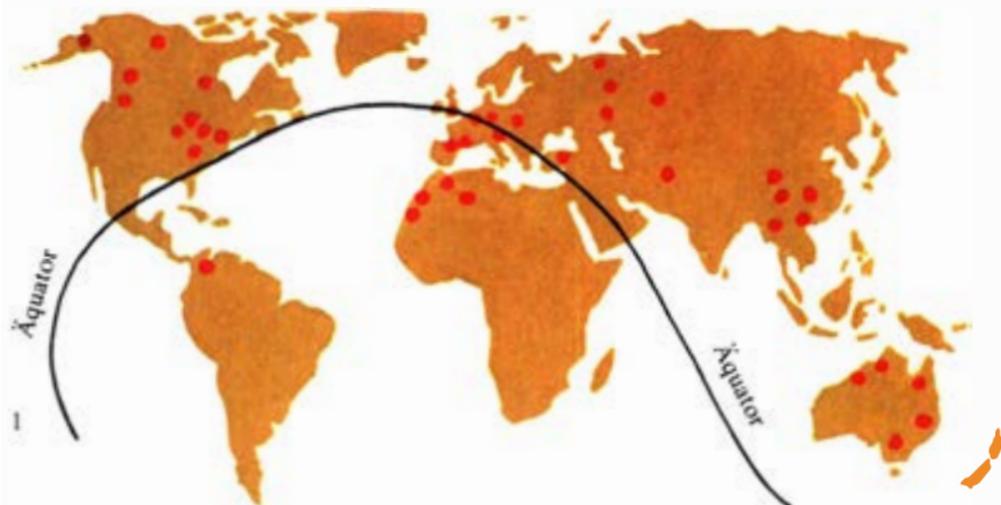
Ähnliches läßt sich über das Karbon sagen. Das Klimain den Wäldern und Mooren war feucht, warm und niederschlagsreich, jahreszeitliche Unterschiede bestanden kaum.



*Pflanzenfossilien Mitteleuropas als Klimazeugen des Tertiärs (links und Mitte) und des Pleistozäns (rechts) (verändert nach Thenius)*

Die tierischen Fossilreste des Quartärs widerspiegeln den mehrmaligen Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten in den ehemaligen Vereisungsgebieten. Unter den Säugern kennen wir wichtige Klimazeugen der jüngeren Erdgeschichte. So sind Wollhaarmammut, Wollhaarnashorn, Rentier und Moschusochse für Kaltzeiten kennzeichnend, Steppenmammut, Riesenhirsch, Elch und Steppennashorn dagegen als Laub- und Grasfresser typische Vertreter der Warmzeiten.

Zu den wichtigsten und häufigsten Zeugen, insbesondere für warmes Klima und bestimmte Wassertiefen, gehören

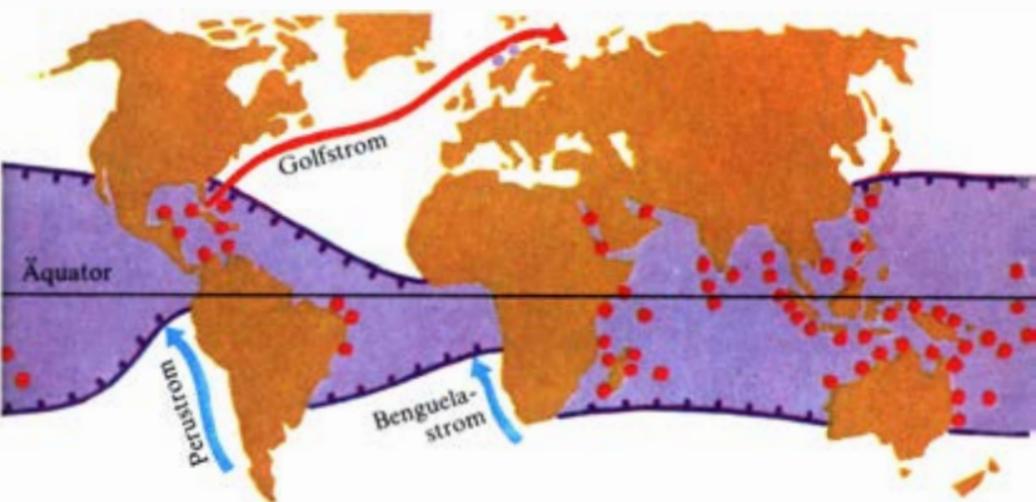


reiche  
Entwicklung  
von Riffen



Grenze  
des Riffgürtels

vereinzelte  
Korallen-  
rasen



kalte Meeresströmungen



warme Meeresströmungen

*Korallen als Klimazeugen. Verlagerung der Riffgürtel im Laufe der Erdgeschichte. 1 – Riffe während des Devons, 2 – Verbreitung der heutigen Korallenriffe (verändert nach Schwarzbach)*

unter den Wirbellosen die Korallen. Sie sind z. B. in den fossilen Riffkalken des Harzes, des Thüringer Waldes, des Schwäbisch-Fränkischen Juras, des Rheinischen Schiefergebirges, der Südtiroler Dolomiten zahlreich überliefert. Korallen waren in der geologischen Vorzeit bis in hohe geographische Breiten hinein verbreitet. Heute leben Riffkorallen in warmen Meeren bei einer Wassertemperatur um 21 °C und im Gürtel zwischen 30° nördlicher und südlicher Breite. Sie bevorzugen gut durchlüftetes Wasser bei Tiefen zwischen 20 bis 50 m.

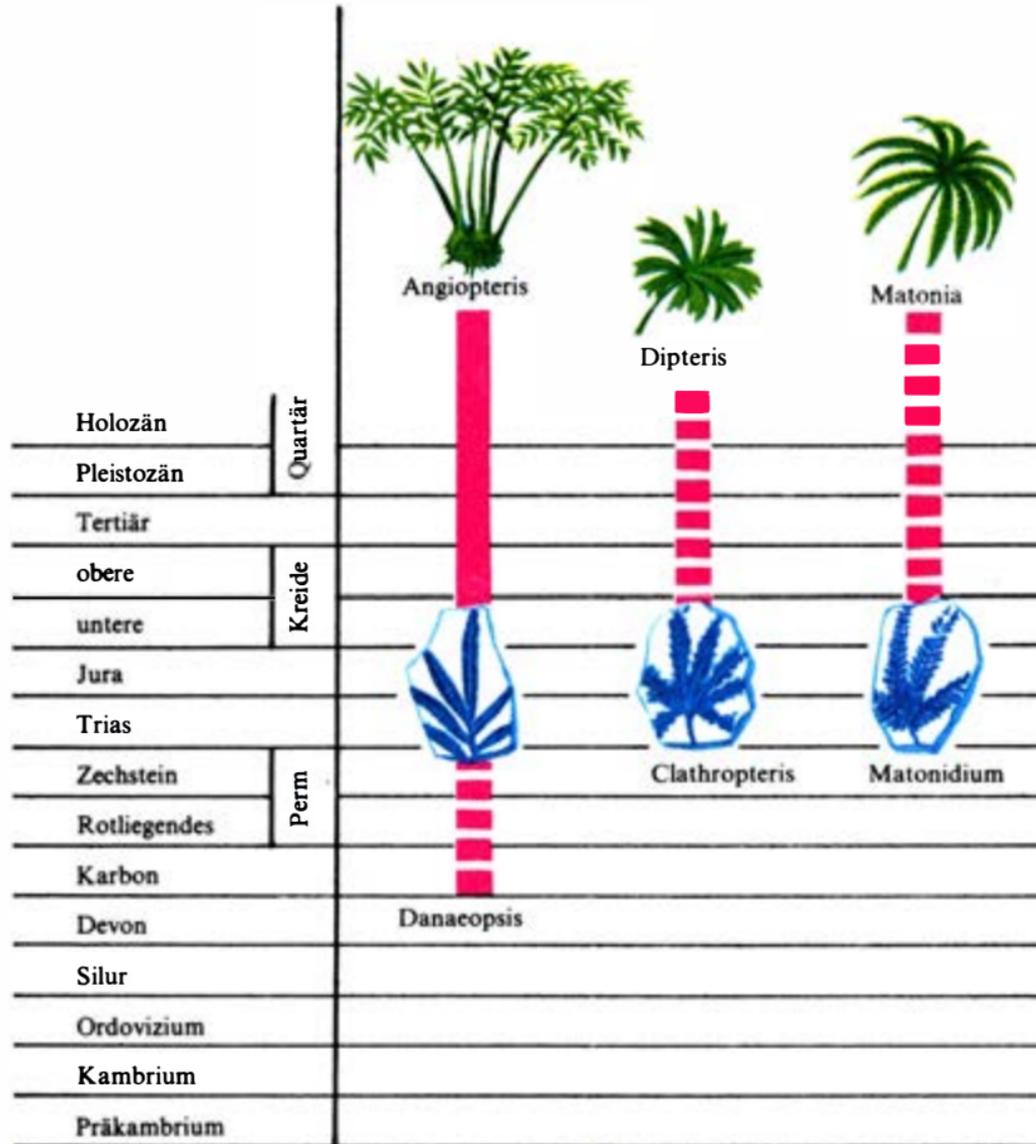
Die Riffbildner der älteren Vorzeit waren hauptsächlich die ausgestorbenen Tetrakorallen, Bödenkorallen (Tabulaten) und Archaeocyathinen neben Bryozoen, Schwämmen, Rudisten und Algen.

Auf Grund der physikochemischen Gesetzmäßigkeiten der Kalkabscheidung ist mit großer Sicherheit anzunehmen, daß auch die Riffbildner der Vorzeit relativ warmes Wasser als Wachstums- und Aufenthaltsort benötigten. So muß es also gelegentlich allgemein oder stellenweise auf der Erde wärmer gewesen sein, da in einzelnen Gebieten bis in die Polarbezirke hinein Riffkorallen wuchsen. Dies heißt wiederum, daß die Lage der Pole und des Äquators zu den damaligen Kontinenten anders war als heute und man Polverschiebungen annehmen muß.

## Lebende Fossilien

Als »lebende Fossilien« oder stammesgeschichtliche Dauertypen bezeichnet man heute lebende Tiere und Pflanzen, die sich seit Jahrtausenden entweder überhaupt nicht oder nur sehr wenig verändert haben. Lebende Fossilien weisen vielfach gegenüber den heute lebenden (rezenten) Formen einen altertümlichen Bauplan auf. Sie besitzen oft zusätzlich erworbene, hochspezialisierte Eigenschaften, die ihren ursprünglichen Charakter verdecken, und nehmen im System der rezenten Lebewesen eine isolierte Stellung ein, da ihre Verwandten längst ausgestorben sind. Ähnliches gilt für ihre räumliche Verbreitung.

Was sind nun die Ursachen für die Existenz der leben-

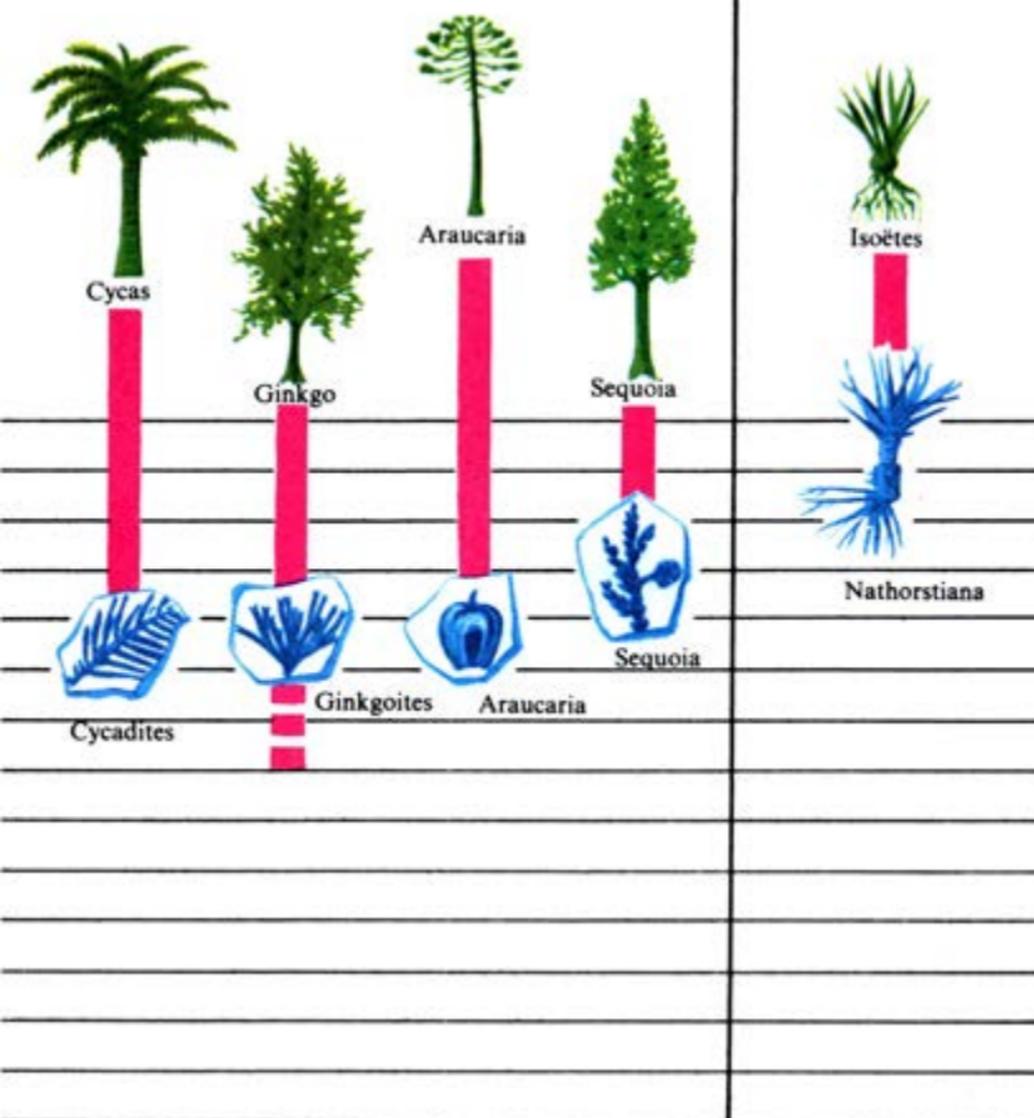


»Lebende Fossilien« des Pflanzenreiches und ihre fossilen Verwandten. Ausgezogene Linie: fossil nachgewiesen, gerissene Linie: fossil nicht belegt (nach Thenius)

den Fossilien? Sie finden sich in allen größeren stammesgeschichtlichen Einheiten, in den verschiedensten Lebensräumen, wie Tiefsee, Küstenbereich, tropischem Urwald oder offenen Steppenlandschaften. Konstante Lebens-

## Nacktsamer

## Bärlappgewächse



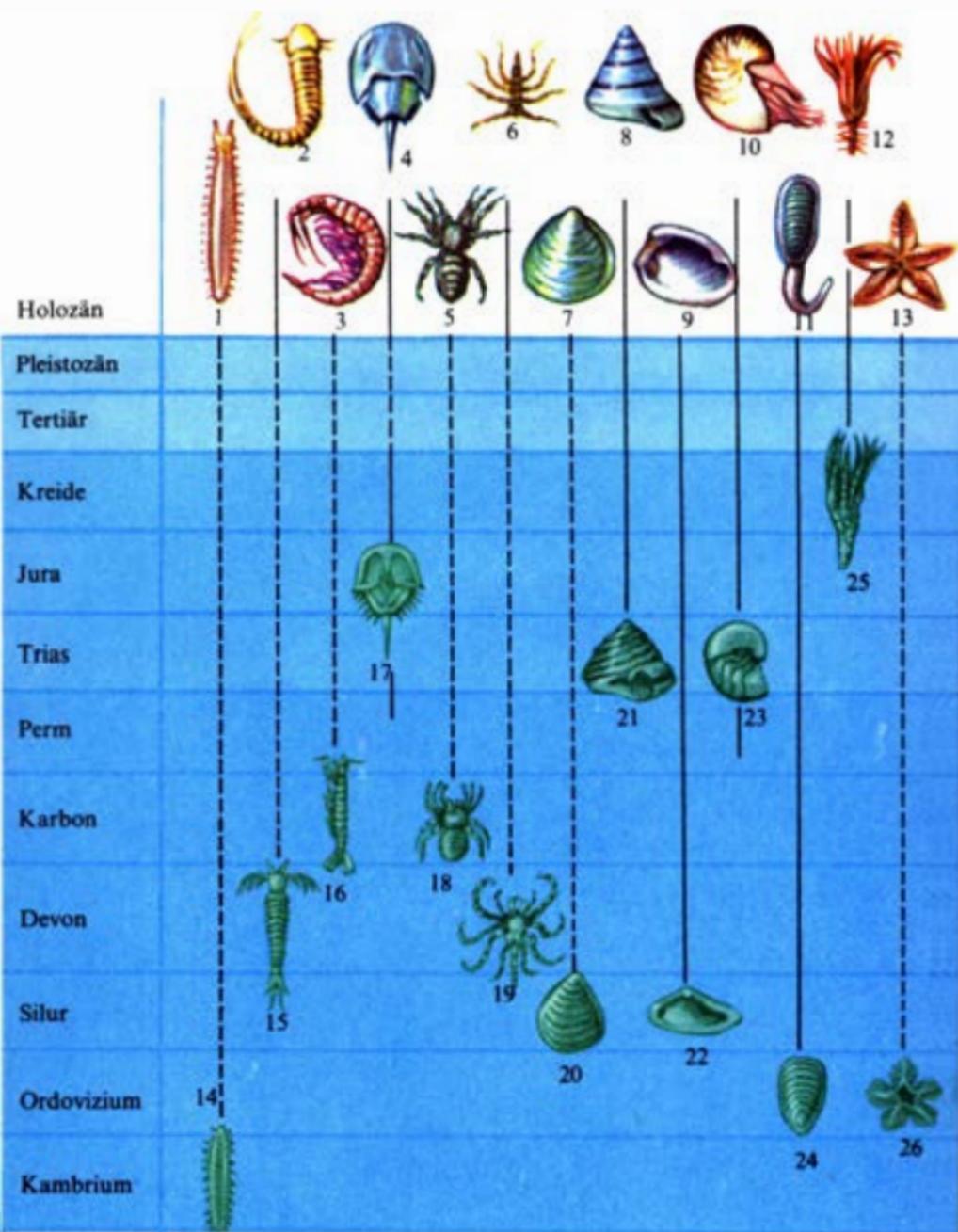
bedingungen sind zwar in solchen Lebensräumen die wichtigste Voraussetzung, aber nicht allein ausschlaggebend. Das Vorhandensein nur einzelner Formen und nicht ganzer Faunen- und Florengemeinschaften weist auf andere Faktoren hin, die für die Erhaltung wichtig sind. Das Auftreten lebender Fossilien in geographisch eng begrenzten Räumen verdeutlicht, daß auch die geographische Isolierung eine wichtige Rolle für die

Erhaltung von sogenannten Reliktfaunen mit zahlreichen ortsgebundenen Arten spielt. Beispielsweise sind die Inseln Neuseeland und Madagaskar sowie Australien typische Gebiete mit terrestrischen Formen lebender Fossilien. Limnische Formen finden sich in abgeschlossenen Seen, wie im Baikalsee (UdSSR), im Ochridsee (VR Albanien/SFR Jugoslawien) und im Njassasee (Malawi/Afrika).

Auch das Fehlen von Nahrungskonkurrenten und Räubern unter den Mitbewohnern kann ein Erhaltungsgrund sein. Nicht nur eine einzige Ursache, sondern ein ganzer Komplex war ausschlaggebend für das Überdauern dieser Organismen über viele Jahrmillionen hinweg. Auf alle Fälle tragen diese Tier- und Pflanzenformen wesentlich dazu bei, in Zoologie, Botanik und Paläontologie interessante Fragen der Evolution klären zu helfen.

Das bekannteste lebende Fossil unter den Wirbellosen ist das »Urmollusk« *Neopilina galathea*. Es wurde erst 1952 im Stillen Ozean vor der Küste von Kostarika in 3590 m Meerestiefe durch das dänische Forschungsschiff »Galathea« entdeckt. Seine fossilen Ahnen sind die »Urschalentiere« des Altpaläozoikums. Weiter ist das »Perlboot« oder der *Nautilus* zu nennen. Es ist die einzige lebende Gattung der Vierkiemer unter den Kopffüßern mit einer im Innern kammerartig aufgebauten Außenschale, die den Weichteilen des Tieres Schutz bietet, gleichzeitig aber auch durch die darin befindlichen Luftkammern das Tiefenschwimmen des Tieres reguliert (»lebendes Bathyskaph«). Die fossilen Vorfahren von *Nautilus* entwickelten sich im Jungpaläozoikum und reichen bis ins Mesozoikum. *Nautilus* bevorzugt heute als Lebensraum die Stillwassergebiete von 40 bis 700 m Tiefe im südwestlichen Pazifischen Ozean und im Indischen Ozean. Schließlich gehört hierher der Schwert-

»Lebende Fossilien« unter den Wirbellosen und ihre fossilen Verwandten. Ausgezogene Linie: fossil nachgewiesen, gerissene Linie: fossil nicht belegt (nach Thenius). 1 – *Peripatopsis*, 2 – *Hutchinsoniella*, 3 – *Anaspides*, 4 – *Limulus*, 5 – *Liphistius*, 6 – *Pycnogonum*, 7 – *Neopilina*, 8 – *Entemnotrochus*, 9 – *Nucula*,



10 – Nautilus, 11 – Lingula, 12 – Metacrinus, 13 – Platasterois, 14 – Aysheaia, 15 – Lepidocaris, 16 – Palaeocaris, 17 – Mesolimulus, 18 – Palaeoisopus, 19 – Arthromyza, 20 – Pilina, 21 – Pleurotomaria, 22 – Nucula, 23 – »Nautilus«, 24 – Lingula, 25 – Metacrinus, 26 – Villebrunaster

schwanz oder Pfeilschwanz»krebse« *Limulus*, ein den Skorpionen und Spinnen nächststehender Wirbelloser. Schwertschwänze (Xiphosuren) bevorzugen heute das Flachwasser, während der Fortpflanzung sogar die küstennahen Wasserbereiche. Im Paläozoikum waren sie gattungsmäßig weit verbreitet.

Bekanntestes Beispiel lebender Fossilien unter den Wirbeltieren ist *Latimeria chalumnae*, ein rezenter Quastenflosser. Bis 1938 galt er als ausgestorben, doch seither wurden mehrere dieser Fische vor der Küste Südafrikas gefangen. Infolge des Aufenthaltes dieser Tiere in Tiefen zwischen 150 und 800 m und ihrer bodenbewohnenden Lebensweise blieben sie so lange unentdeckt.

Von den landbewohnenden lebenden Fossilien sind die Brückenechse (*Sphenodon punctatus*), der Urfrosch (*Leiopelma*) und die Schnepfenstrauße oder Kiwis, alle auf Neuseeland beheimatet, zu nennen. Auf dem australischen Kontinent sind Schnabeltier und Ameisenigel als Eierleger oder Kloakentiere durch einen stammesgeschichtlichen Eigenweg in ihrer morphologischen und physiologischen Entwicklung gekennzeichnet.

Aus dem Pflanzenreich sind die bekanntesten lebenden Fossilien der Ginkgobaum, die Cycadeen (»Palmenfarne«), die Mammutbäume (Sequoien), die Araukarien (»Zimmeranne«) und die altertümlichen Baumfarne.

---

# Das früheste Leben auf der Erde

---

## Sauerstoff – »Auslöser« der Entfaltung des Lebens

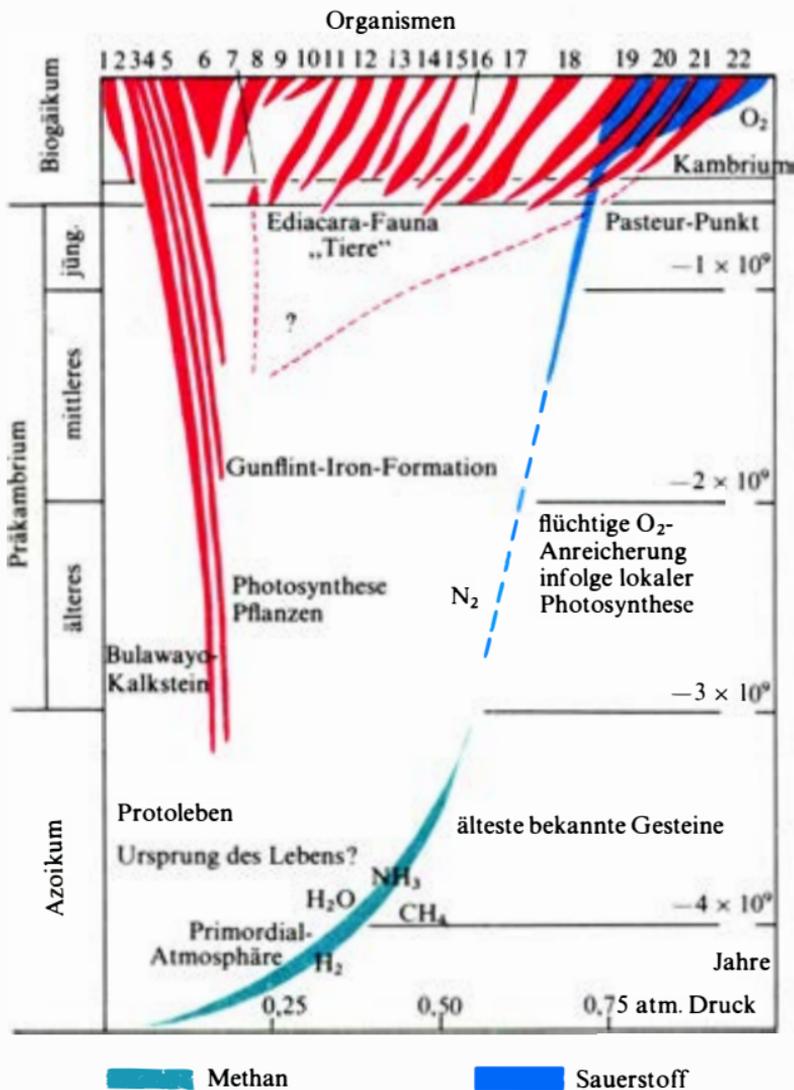
Die Lufthülle ist ausschlaggebend für das sich auf der Erde entwickelnde Leben, so daß heute die Erforschung der Atmosphäre der Vorzeit und die dabei erzielten Ergebnisse wichtige Informationen zur Palökologie frühesten Lebens liefern. Mit der Erforschung der Atmosphären-Geschichte beschäftigen sich komplex naturwissenschaftliche Bereiche, so z. B. Kosmochemie, Geochemie, Photochemie, Geo- und Biowissenschaften in gleicher Weise. Da aber Luftproben aus geologischer Vorzeit nicht zu beschaffen sind, bedient man sich bei der Erforschung der Paläoatmosphäre indirekter Untersuchungsmethoden.

Die älteste Erdatmosphäre ist ein Entgasungsprodukt von Erdmantel und Erdkruste. Leichtflüchtige Bestandteile, wie Wasser ( $H_2O$ ), Kohlendioxid ( $CO_2$ ), Kohlenwasserstoffe (meist Methan  $-CH_4$ ) und Stickstoff ( $N_2$ ), bildeten eine Gashülle um den festen Erdball. Sauerstoff war in dieser Uratmosphäre zunächst nicht vorhanden.

Der amerikanische Chemiker Urey nimmt für die Erde eine primäre Methan-Ammoniak-Atmosphäre an, die bis vor etwa 2,7 Milliarden Jahren auf der Erde herrschte. In dieser reduzierenden Uratmosphäre entstanden bereits »Eobionten«, Formen eines sogenannten Protolbens aus organischen Großmolekülen. Sie sind zwar noch nicht als Organismen im heutigen Sinne anzusprechen, stellen aber Vorstufen dar. Es waren langkettige Kohlenstoffverbindungen, die ohne Luftsauer-

Gruppe Tierwelt	System (Periode)	Abteilung (Epoche)	Beginn vor Mio Jahren	Klima und Umwelt	
Erdneuzeit oder Känozoikum	Quartär	Holozän Pleistozän	0,01 $1,8 \pm 0,5$	gegenwärtige Formen Warm- und Kaltzeiten	Zeitalter der Säugetiere
	Tertiär	Neogen Paläogen	$26 \pm 2$ $67 \pm 3$	wechselnde Klimate subtropisch-gemäßigtes wintertrockenes Klima	
Erdmittelalter oder Mesozoikum	Kreide	Oberkreide	$100 \pm 5$	warm, z. T. trocken	Zeitalter der Reptilien (Blütezeit)
		Unterkreide	$137 \pm 5$	Temperaturzunahme feucht und kühl	
	Jura	Malm	$162 \pm 5$	warm-trocken, z. T. warm-feucht	
		Dogger	$172 \pm 5$	warm und ausgeglichen	
Trias	Lias	$195 \pm 5$	kühl-feuchte Bildungen		
	Keuper	$205 \pm 5$	feuchteres Klima		
	Muschelkalk Buntsandstein	$215 \pm 5$ $230 \pm 5$	boreale und warme Meere (ausgeglichene Klimate) halbarides, trockenes Klima		
Erdaltertum oder Paläozoikum	Perm	Zechstein	$240 \pm 10$	Riffbildung warm-trockenes Klima (Salze, Rotverwitterung)	Zeitalter der Fische und Amphibien
	Karbon	Rotliegendes	$285 \pm 10$	permokarbonische Vereisung	
		Oberkarbon	$325 \pm 10$	kalt-trockene (Tillite) und feucht-warme (Kohlen) Klimate	
	Devon	Unterkarbon	$350 \pm 10$	ausgedehnte Waldmoore weltweit verbreitet	
		Oberdevon	$360 \pm 10$	semiarides Klima mit Wechsel von Trocken- und Regenzeiten	
		Mitteldevon	$370 \pm 10$	frühdevonische Eiszeit	
	Silur	Unterdevon	$405 \pm 10$	trockenes Klima (Salze) erste Korallenriffe	Zeitalter d. marin. Wirbellosen
Ordovizium Kambrium		$440 \pm 10$	Temperaturanstieg gleichmäßig mildes Klima		
	Oberkambrium	$500 \pm 15$ $515 \pm 15$	wärmeres Klima (Riffe)		
	Mittelkambrium	$540 \pm 15$	trockenes Klima (Salze)		
	Unterkambrium	$570 \pm 15$	feucht-gemäßigt		
Erdfrühzeit oder Präkambrium	Riphäikum		etwa $1000 \pm 50$	kühles Klima freier Sauerstoff (1% PAL)	
	Proterozoikum		etwa $2000 \pm 50$	kühles und feuchtes Klima Vereisungen	
	Archaikum		etwa $2800 \pm 50$	Entwicklung einer O <sub>2</sub> - führenden Atmosphäre	
	Katar- chaikum		etwa 4000	„Urmeer“	
Erdurzeit	Azoikum		4500-5000	sauerstofffreie Uratmosphäre (H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O)	

Entwicklung des Lebens		Gruppe Pflanzenwelt
Tierwelt	Pflanzenwelt	
<p>prähistorische und historische Entwicklung des Menschen  Aussterben und Ausrottung  Auftreten des Menschen  erste Vertreter der Primaten  Entfaltung der Säugetiere</p>	<p>Ausbildung der gegenwärtigen Vegetationszonen  Aussterben und Ausrottung von Tier- und Pflanzenarten  klimabedingte Vegetationsgürtel  Herrschaft der Angiospermen  Blütenpflanzen und Nadelhölzer (Sumpfpfypressen und Mammutbäume)</p>	Zeitalter der Bedecktsamer oder Käinophylikum
<p>Aussterben der Saurier, Ammoniten, Belemniten, Inoceramen (Muscheln)  beginnende Entfaltung der Säugetiere  erster Vogel: Archaeopteryx  Zeit der gewaltigen Saurier  Fische häufig  erste Säugetiere  intensive Entfaltung der Reptilien  Böden- und Tetrakorallen sterben aus</p>	<p>Angiospermen (Blütenpflanzen dominieren)  sehr gleichförmige Pflanzenwelt  Formenfülle der Nacktsamer (Nadelbäume, Ginkgogewächse) und Farne  Cycadeen und Bennettiteen  Ginkgogewächse, Algenriffe,  letzte Farnsamer  Buntsandstein-Trockenflora</p>	
<p>erste säugetierähnliche Reptilien  Trilobiten sterben aus  Entwicklung der Reptilien</p>	<p>erste Ginkgogewächse  Nacktsamer (Gymnospermen)</p>	Zeitalter der Gefäßsporenpflanzen oder Paläophylikum
<p>erste Reptilien  Knochen- und Knorpelfische  Graptolithen und Panzerfische sterben aus</p>	<p>Florensprung  höhere Sporenpflanzen  erste Nacktsamer: Cordaiten, Nadelbäume  Archaeopteris-Flora  rasche Entwicklung der Landpflanzen  Hyenia-Flora  Nacktpflanzen (Psilophyten)  erste Gefäßpflanzen - älteste Landpflanzen</p>	
<p>Erste Amphibien und flügellose Insekten  breite Entwicklung der Fische  marine Wirbellose vorherrschend  Auftreten der eigentlichen Fische</p>	<p>auffällige Entwicklung der Kalkalgen  Algen weiterhin vorherrschend</p>	Zeitalter der Algen oder Algophylikum
<p>erste Wirbeltiere: Kieferlose  Entfaltung der marinen Wirbellosen  9 Tierstämme nachgewiesen  Wirbeltiere fehlen noch</p>	<p>Algen  keine Pflanzen  „Sauerstoffatmung“  Stromatolithen</p>	
<p>älteste strukturierte Lebensspuren (Grün- und Blaualgen)</p>		Zeitalter der Algen oder Algophylikum
<p>Beginn der biologischen Entwicklung - Ernährung durch Photosynthese</p>		
<p>abiologisch-chemische Entwicklung („Milchsäuregärung“, „Eobionten“)</p>		Zeitalter der Algen oder Algophylikum



Die Entwicklung der Organismen und der Atmosphäre. 1 – Dinoflagellaten, 2 – Blaugrüne Algen, 3 – Bakterien, 4 – Pilze, 5 – Grünalgen, 6 – Gefäßpflanzen (Tracheophyten), 7 – Archaeocyathiden, 8 – Rotalgen, 9 – Coccolithen, 10 – Kieselalgen, 11 – Schwämme, 12 – Einzeller, 13 – Hohltiere, 14 – Moostiere, 15 – Armfüßer, 16 – Conodonten, 17 – Ringelwürmer, 18 – Gliederfüßer, 19 – Weichtiere, 20 – Stachelhäuter, 21 – Hemichordaten, 22 – Wirbeltiere (ergänzt nach Fischer und Grabert)

stoff, also anaerob, »lebten« und durch elektrische Entladungen bei Gewittern entstanden. Ihr Energiestoffwechsel beruhte auf der Milchsäuregärung. Diese gärenden Einzeller bewohnten die Wasserbecken in einer Tiefe von etwa 10 m. Aminosäuren, die Bausteine der Proteine als Träger organischen Lebens, bildeten sich in dieser Umwelt der Uratmosphäre aber nur in den oberen Wasserschichten und dienten den »Uroorganismen« als Nahrung.

Der Schritt zur Entwicklung des höheren Lebens vollzog sich dann durch den Aufbau von organischen Substanzen aus anorganischen Stoffen mit Hilfe der Photosynthese. Dieser Prozeß kennzeichnet den Beginn des pflanzlichen Lebens. Im Gegensatz zu den Eobionten und zur späteren Tierwelt sind diese Organismen autotroph, speziell photoautotroph. Mit Hilfe des Sonnenlichtes assimilieren sie die energieärmste Kohlenstoffverbindung, das Kohlendioxid. Der für die Entwicklung des Lebens notwendige Sauerstoff wird durch diese photochemischen Prozesse freigesetzt. Diese Lebensprozesse spielten sich vor etwa 2 Milliarden Jahren im Altpräkambrium ab. Die nächstfolgenden wichtigsten Sauerstoffproduzenten waren mehrzellige pflanzliche Organismen, die Blaualgen (Cyanophyceen) des mittleren und jüngeren Präkambriums. Ihre fossilen Reste sind Stromatolithen-Riffe, die z. B. in Südrhodesien ausgezeichnet erhalten blieben. Es sind die ältesten Algenriffe der paläontologischen Überlieferung.

Der Anstieg des Sauerstoffgehalts in der Atmosphäre vollzog sich sicherlich nur langsam. Leben entstand nun nur noch aus Leben. Im jüngeren Präkambrium setzte dann eine massivere Photosynthese ein, die den  $O_2$ -Gehalt der Atmosphäre stärker ansteigen ließ und somit fördernd auf die Entstehung organischen Lebens wirkte. Dieser zunehmende Sauerstoffgehalt hatte für die weitere Entwicklung des Lebens weitreichende Folgen. Er ermöglichte den Übergang von der Gärung zur Sauerstoffatmung. Atmenden Lebewesen stand plötzlich die etwa 14fache Energiemenge für ihre Lebenstätigkeit zur Verfügung. Durch die weitere Filterung des UV-Spektrums entfaltete sich das Leben von diesem Zeitpunkt an auch

im Flachwasser (< 3 m Tiefe). Dieser Übergang war der entscheidende Schritt für die Entwicklung zu höherem Leben. Diese neue und wirtschaftlichere Form des Energiestoffwechsels hatte eine schlagartige Differenzierung des Lebens zur Folge und führte zur Herausbildung der einzelnen Stämme des Tierreiches, einschließlich der Chordaten, vor etwa 700 Millionen Jahren. Es ist die »Geburtsstunde des Tierreiches«, des Biogäikums. Der oft diskutierte Faunenschnitt an der Wende Präkambrium/Kambrium ist also letztlich auf ein energetisches Problem zurückzuführen. Die biologische Entfaltung zu dieser Zeit ist eine Folge des Sauerstoffanstieges über den kritischen Pegel von etwa 1% des heutigen Gehalts der Atmosphäre an Sauerstoff, den sogenannten Pasteur-Pegel. Auf dieser höheren Energiegrundlage konnte sich nun das Leben bis zu seiner heutigen Organisationshöhe entfalten.

## Die Algenzeit – älteste Lebensspuren

Bemerkenswert für die systematische Gliederung der ältesten strukturierten Fossilien ist der Charakter ihrer Zellen, d. h. die Tatsache, ob sie einen Zellkern besitzen oder nicht. Zellkernlose Organismen heißen Prokaryonten, zellkernhaltige Eukaryonten. Der Übergang von den Prokaryonten zu den Eukaryonten gilt als der bedeutendste Entwicklungsschritt in der Phylogenese der Lebewesen. Er ist zeitlich fixierbar und liegt bei etwa 1200 bis 1400 Millionen Jahren, d. h. im Jungpräkambrium. Vor diesem Zeitpunkt lebten nur Bakterien und Blaualgen (Cyanophyceen). Dieser entscheidende Schritt zur Höherentwicklung, die Bildung eines Zellkerns, vollzieht sich bei der Synthese von Eiweißbausteinen aus Aminosäuren über Polypeptide in der Frühatmosphäre der Erde.

Die Tätigkeit von Bakterien im Entwicklungsablauf der Organismen war seit der Entstehung von Lebewesen geologisch wichtig, ist aber wenig bekannt und im frühen Präkambrium weder qualitativ noch quantitativ sicher erfaßbar. Unter anderem werden hierher kernlose Bak-

terien mit photosynthetischen Apparaten der Onverwacht-Serien des Swaziland-Systems in Südafrika gestellt. Sie sollen mehr als 3 Milliarden Jahre alt sein.

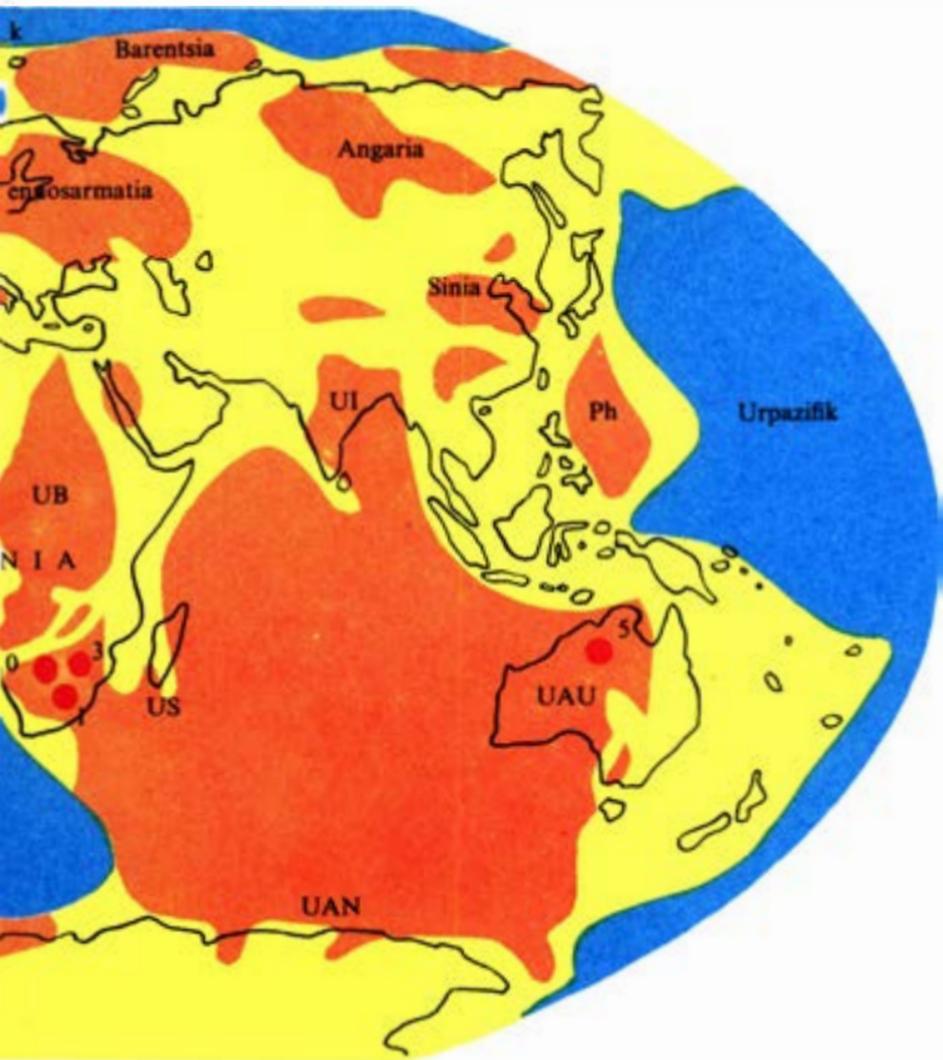
Wenden wir uns den fossilen Algenresten sowie den Rückständen ihrer Lebensäußerungen, den Stromatolithen, zu. Stromatolithen entstehen durch die Tätigkeit von kernlosen Blaualgen und Bakterien. Es sind biogene extrazelluläre Kalkfällungen, die deutliche Wachstumsrhythmen erkennen lassen. In diesem Netz von Algenfäden ist zerfallenes Organismenmaterial eingelagert. Derartige Strukturen treten häufig im Präkambrium, im Kambrium und im Silur auf. Die ältesten dieser Spurenfossilien sind etwa 2,6 Milliarden Jahre alt.

Säulenförmige, flachgeschichtete und knollenförmige Stromatolithen-Vergesellschaftungen lassen sich örtlich z. B. in der Sowjetunion, in Australien und in Afrika zu biostratigraphischen Vergleichen als Zonenfossilien in präkambrischen Schichten praktisch nutzen und geben Aufschluß über damalige Biotope. So waren im Mittleren Präkambrium Algenriffe in den Seichtwasserbereichen und an den Küsten weltweit verbreitet, Planktonalgen waren örtlich häufig. Die Flora bestand größtenteils aus Prokaryonten, einer Gruppe kugel- und fadenförmiger Blaualgen und verschiedener Bakterien.

Im Jungpräkambrium herrschten die Blaualgen noch vor, aber nun traten auch Eukaryonten in Form von Grünalgen (Chlorophyceen) und wahrscheinlich auch als Pilze auf. Der Erwerb des Zellkerns ist daher als markanteste Errungenschaft anzusehen. Er befähigte die Lebewesen zum genetischen Austausch auf dem Wege der geschlechtlichen Fortpflanzung, eine Fähigkeit, die der Entwicklung zu höherem Leben neue Impulse verlieh. Außerdem erlangten diese Lebewesen die Fähigkeit zur Kalkabscheidung, wodurch die Voraussetzung für die Fossilierung langsam erworben wurde.

Amerikanische Wissenschaftler fanden 1966 tatsächlich fossile Einzeller, und zwar Thallophyten (Lagerpflanzen) mit erkennbaren Zellkernen in feuersteinartigen schwarzen Kieselschiefern des San-Bernardino-Gebietes in Kalifornien (USA). Es wurde eine Mikroflora fossiler zellkernloser Blaualgen (Cyanophyceen) und kerntragender



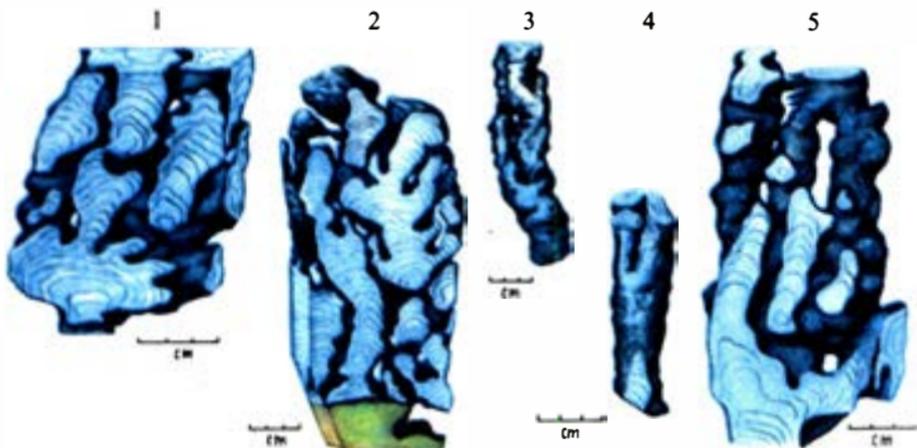


 Urozeane

 Fundpunkte  
pflanzlicher  
Lebensspuren

*afrika, UB – Urbinnenafrika, US – Ursüdafrika, UAN – Urant-  
arktika, UI – Urindia, UAU – Uraustralia (verändert nach Stille,  
Kölbl und Glaessner)*

Grünalgen (Chlorophyceen) entdeckt. Ihr geologisches Alter beträgt 1,3 Milliarden Jahre, ihre Größe 7/1000 bis 8/1000 mm Durchmesser. Wahrscheinlich gehören diese Algen zur heute noch lebenden Familie der Chlorococ-



*Stromatolithen* (»Algenkalke«) des australischen Präkambriums. 1 – *Tungussia* sp. I, 2 – *Baicalia*, 3 – *Linella*, 4 – *Boxonia*, 5 – *Tungussia* sp. II (nach Glaessner, Preiss und Walter)

caceae, die damit die älteste lebende Familie der Organismenwelt darstellt.

Vom Kambrium bis zum Silur dominierten unter den Pflanzen weiterhin die marinen Lagerpflanzen (Thalphyten) und die Spaltpflanzen (Schizophyten). Bakterien, Blaualgen und Grünalgen beherrschten ja bereits das Präkambrium und spielten auch weiterhin eine Rolle. Diese Zeit der pflanzlichen Entwicklung trägt also zu Recht den Namen Algenzeit oder Algophytikum.

Lagerstättenbildend waren auch nach dem Präkambrium z. B. Algenablagerungen im Bereich des ordovizischen Schelfmeeres der Estnischen SSR. Skelettlose Grünalgen der Gattung *Gloecapsomorpha* bildeten den Ölschiefer Kuckersit, der bis zu 54% aus Algensubstanz besteht.

## Erste nachweisbare Vielzeller

Die ersten fossilen Vielzeller (Metazoen) traten in dem Zeitabschnitt vor 570 bis 700 Millionen Jahren auf. Er wird nach dem Fundort Ediacara in Südastralien »Ediacarische Formation« oder »Ediacarisches Übergangsfeld« genannt. Die Bezeichnung Übergangsfeld charakterisiert die Fauna als ein Entwicklungsstadium zwischen primitiven Tierkolonien und höheren Tieren.

Die biologischen Entwicklungsprozesse im Ediacarischen Übergangsfeld stehen aller Wahrscheinlichkeit nach in sehr engem Zusammenhang mit der Lebensentfaltung im Kambrium und sind generell von außerordentlicher Bedeutung für die weitere Entwicklung des Lebens auf der Erde. Sie verliefen in drei Entwicklungsschritten. Zunächst gingen die gabeligen Verzweigungen dieser Organismen in ein achsenbetontes Verzweigungssystem über, d. h., sie bildeten einen Sproß ohne durchgehende Hauptachse. Anschließend traten die einzelnen Sproßglieder seitlich miteinander in Kontakt und verwuchsen zu einer Spreite, so daß geschlossene Körper mit sekundären Körperhöhlen entstanden. Diese Organelemente gliedern sich in drei größere Formengruppen, die möglicherweise die Wurzeln für die sich im Kambrium entfaltenden Vielzeller bilden. Die Typusfundstellen dieser Vielzellerfauna liegen in Australien. Die bisher entdeckten

*Fundpunkte der jungpräkambrischen Ediacara-Fauna. Australien: 1 – Ediacara, 2 – Flinders Ranges, 3 – Officer Basin bei Punkerri Hills, 4 – Deep Well/Alice Springs. Afrika: 5 – Nama System. England: 6 – Charwood Forest (Leicestershire). Schweden: 7 – Torneträsk (Nordschweden). Sowjetunion: 8 – Ukraine (Podolien), 9 – Yarensk, nordöstlich Moskau, 10 – Nordsibirien (Olenek uplift), 11 – Kola-Halbinsel, 12 – Westteil der Russischen Tafel, 13 – Ostteil der Russischen Tafel. Kanada: 14 – Neufundland (verändert nach Glaessner)*



1600 Exemplare verteilen sich auf 30 Arten von Hohltieren (67%), Glieder- oder Ringelwürmern (25%) und Gliederfüßern (5% der Fossilien). Das Fossil *Tribrachidium* ist möglicherweise eine Echinoderme. Inzwischen sind in Südafrika, in der Sowjetunion und in Kanada weitere gleichaltrige Funde gemacht worden.

Die Ediacara-Fauna enthält keine hartschaligen Organismen. Sie besteht neben den Körperfossilien noch aus etwa sechs Spurenfossilien. Es sind Weidespuren und Spuren von Sedimentfressern, letztere lassen einen hohen Nährstoffgehalt des Bodens und des Sediments vermuten. Als Sedimente treten Quarzite mit Kreuzschichtung und dünne Tonlinsen auf, die auf starke Strömungen in seichtem Wasser hinweisen. Die Wassertiefe liegt bei etwa 25 m. Daher sind nur selten und örtlich günstige Fossilisationsbedingungen vorhanden gewesen.

Die zweite bedeutende Fundstelle ediacarischer Faunen liegt in Südafrika. Auf Grund der besonders guten Erhaltung, die auf Einkieselungsprozesse während der Sedimentation zurückzuführen ist, haben diese Funde Aufschluß über die Anatomie der ediacarischen Organismen gegeben.

Auch die in Sibirien (UdSSR) weitverbreitete Vend-Formation ist außerordentlich aufschlußreich. Hier herrschen als tierische Reste vor allem Medusen vor – eine Fauna, die möglicherweise auf einen noch anderen Lebensraum hindeutet. Ebenfalls sehr häufig ist in Sibirien eine Algenflora (Stromatolithen), die sich durch großen Formenreichtum an Kalkalgen auszeichnet.

Da ältere als die hier genannten Vielzeller-Faunen nicht bekannt sind, kann man annehmen, daß die Wurzeln

*Lebensgemeinschaft der präkambrischen Ediacarafauna. Hohltiere (Coelenteraten): 1 – Ediacara flindersi, 2 – Beltanella gilesi, 3 – Medusinites asteroides, 4 – Mawsonites spriggi, 5 – Cyclo-medusa davidi, 6 – Cyclomedusa plana, 7 – Conomedusites lobatus, 8 – Rangea longa, 9 – Arborea arborea, 10 – Pteridinium simplex. Glieder- oder Ringelwürmer (Anneliden): 11 – Spriggina floundersi, 12 – Dickinsonia costata. Gliederfüßer (Arthropoden): 13 – Parvancorina minchami. Systematisch fraglicher Wirbelloser, möglicherweise eine Echinoderme: 14 – Tribachidium heraldicum (verändert nach Glaessner, Wade und Gehling)*

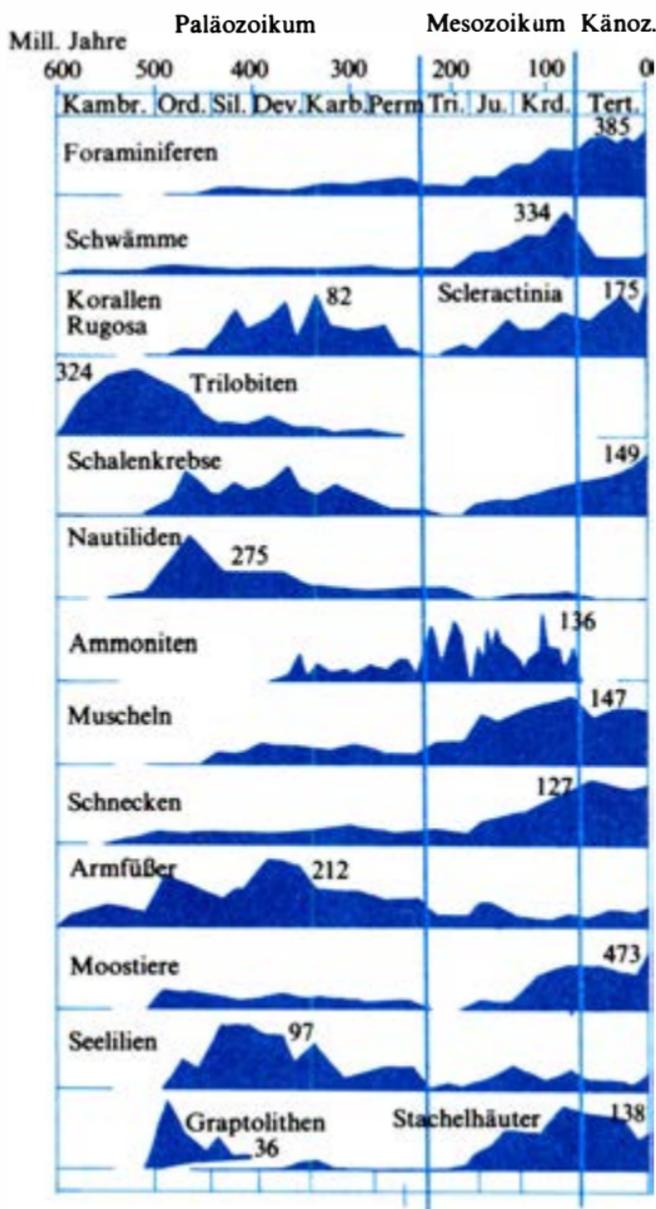


der verschiedenen Tierstämme im mittleren bis frühen Präkambrium zu suchen sind. Die eigentlichen Anfänge des Lebens lassen sich in den noch älteren metamorphen Gesteinen nicht nachweisen. Neuere geologische Erkenntnisse lassen jedoch die Hypothese zu, daß das irdische Leben von außerirdischen Formen abstammt, die mit meteoritischem Material in die Urerde eingebracht wurden. Aber hier gibt es noch zahlreiche ungeklärte Fragen. Jedenfalls scheint es nicht ganz abwegig, daß Leben älter als die Erdkruste, vielleicht sogar älter als die Erde ist.

## Die Zeit der marinen Wirbellosen

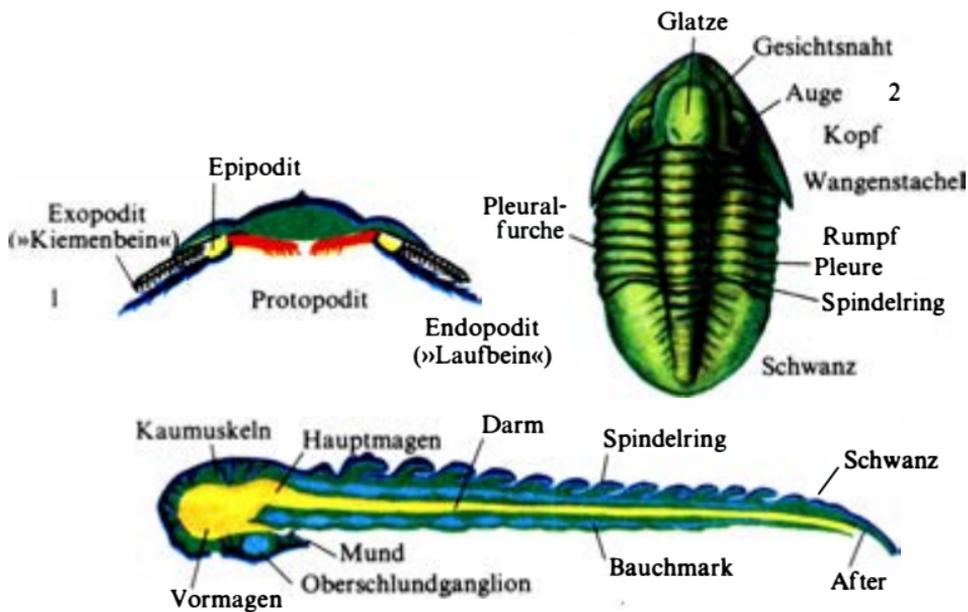
Vor etwa 570 bis 600 Millionen Jahren traten sprunghaft vielzellige Organismen in großer Vielfalt auf, deren Reste uns in den Sedimentgesteinen erhalten geblieben sind. Sie ermöglichen es, diese Ablagerungen nach Fossilien zu gliedern. Zu diesem Zeitpunkt sind sämtliche Wirbellosenstämme des Tierreiches bereits vorhanden, d. h., die Trennung in die Hauptgruppen muß schon in präkambrischer Zeit erfolgt sein. Jeder Zeitabschnitt der Erdgeschichte brachte dann seine ihm eigenen Lebensformen hervor. Im Verlauf der stammesgeschichtlichen Entwicklung starben solche Organismen oft genug wieder aus und wurden durch höher organisierte Lebewesen abgelöst. Dem Zeitalter der marinen Wirbellosen vom Proterozoikum bis zum Silur folgt vom Devon bis Perm das der Fische und Amphibien, von der Trias bis zur Kreide das der Reptilien und ab Tertiär das der Säugetiere. Am Ende dieser Reihe steht der Mensch als höchstentwickelter Organismus der Erde.

Durch die Ausbildung tragfähiger und schützender Skelette haben sich mit Beginn des Kambriums die Bedingungen der Fossilierung wesentlich verbessert. Die »Erfindung« eines Außenskeletts trug erheblich dazu bei, die Organisationsformen in der Lebewelt zu erweitern. So kam es zu der großen Formenvielfalt in den kambrischen Faunen, die zahlreiche Zeugen für die stammesgeschichtliche Forschung anbieten.



*Stammesgeschichtliche Entfaltung einiger Gruppen von marinen Wirbellosen. Dargestellt ist die Zahl der Gattungen, jeweils bezogen auf die Gesamtzahl der bekannten (nach House).*

Schlagen wir das Buch der Erdgeschichte auf, und lesen wir auf seinen Seiten über die weitere Entwicklung des tierischen und pflanzlichen Lebens.



*Morphologischer Bau eines Trilobiten (Dreilappkrebse). 1 – schematischer Querschnitt durch den Rumpf (Thorax) von *Megalaspis limbata*, 2 – Rücken- oder Dorsalansicht, 3 – schematischer Längsschnitt (nach R. Richter und H. Schmidt)*

Das Erdaltertum (Paläozoikum) beginnt mit dem System Kambrium, benannt nach der altrömischen Bezeichnung für Nordwales in Großbritannien. Ihm folgen Ordovizium und Silur, die ihren Namen nach einem keltischen und einem britischen Volksstamm erhielten. Nach der südenglischen Grafschaft Devonshire bekam das Devon seinen Namen. Karbon (lat. carbo = Kohle) weist auf die Steinkohlenlagerstätten hin, die während dieses Zeitabschnittes entstanden. Das Perm schließlich erhielt seinen Namen nach einem ehemaligen russischen Gouvernement im Ural.

Die charakteristischste Tiergruppe im Kambrium sind die zu den Gliederfüßern gehörenden, weltweit marin lebenden Trilobiten (Dreilappkrebse). Ihr Körper ist augenfällig längs und quer dreigliedert. Der Panzer besteht aus Chitin, in das Kalziumphosphat und -karbonat eingelagert sind. Es sind die wichtigsten und häufigsten Leitfossilien während des Erdaltertums. Der Höhepunkt ihrer Entwicklung lag im Oberkambrium und im

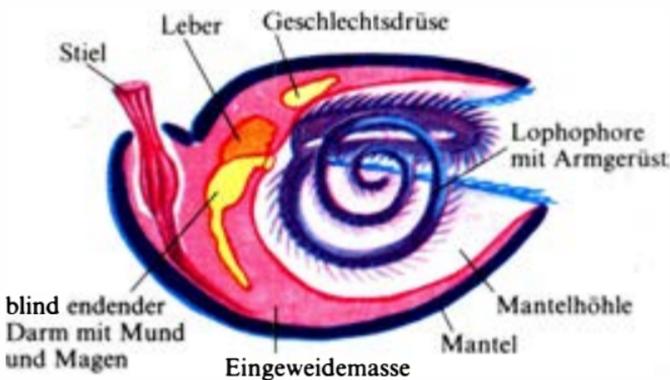
Ordovizium, die letzten Vertreter starben im Perm aus, nachdem die Formenvielfalt bereits im Karbon zurückging. Das ältere Erdaltertum wird wegen der Häufigkeit dieser Tiergruppe – sie stellten mit 50% den Hauptanteil der Tierwelt – manchmal auch als »Zeitalter der Trilobiten« bezeichnet.

Die Trilobiten des Kambriums weisen bis auf einige Formen, wie *Agnostus* und *Eodiscus*, noch einfache Entwicklungsmerkmale auf. Es sind z. T. blinde, Schlammgründe bewohnende Formen, oder sie besitzen nur als Wülste ausgebildete Augen. Das Einrollungsvermögen der jüngeren Formen ist bei ihnen ebenfalls noch nicht entwickelt. Charakteristisch ist die große, aber wechselnde Anzahl der Rumpfglieder.

Neben den Dreilappern spielen die Archaeocyathiden eine wichtige Rolle. Es sind Organismen von teils korallen-, teils schwammartigem Aussehen mit einem massiv entwickelten Kalkskelett (Hohlzylinder). Sie bildeten Riffe in einer ehemals durch wärmeres Klima gekennzeichneten, mediterranen Zone von Nordamerika über Mittel- und Südeuropa, Nordafrika, Mittelasien und Sibirien bis nach Australien hin. Sie dienen auch als Klimazeugen.

Die Armfüßer (Brachiopoden), die örtlich stratigraphisch wichtig sind, werden durch primitive Formen vertreten.

*Morphologischer Bau eines Brachiopoden (Armfüßer) (nach A. H. Müller)*



Sie sind hornschalig und schloßlos (Inarticulaten), die schloßtragenden Arten (Articulaten), die ein verkalktes inneres Armgerüst besitzen, erreichen erst später ihre Blütezeit.

Von den Weichtieren (Mollusken) ist der kleine, geradwüchsige Kopffüßer *Volborthella* bemerkenswert. Die zunächst spitzkegelförmigen Gehäuse nehmen erst allmählich eine leicht gekrümmte Form an, wie z. B. *Asco-ceras*.

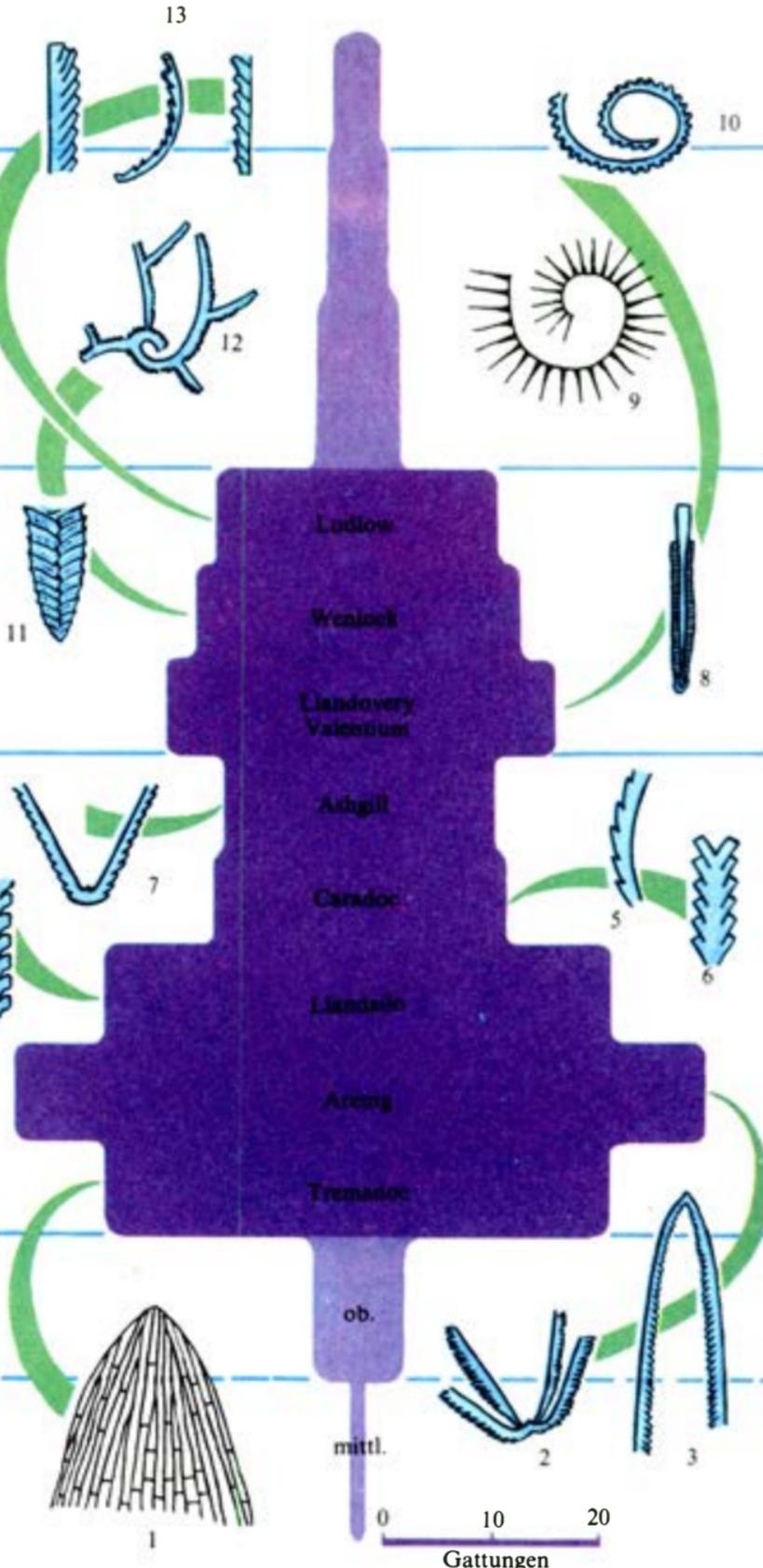
Neben den bereits genannten Wirbellosen treten auch Medusen in Form von Ausgüssen des Körperhohlraumes und erste Schalen- oder Muschelkrebse auf. Sie alle bewohnten damals hauptsächlich die Flachseegebiete oder Schelfmeere der Erde. Eine besonders durch Fossilfunde an Weich- und Hohltieren sowie Stachelhäutern bekannt gewordene Fundstätte des Mittelkambriums sind die Burgess-Schiefer in Britisch-Kolumbien (Kanada).

Insgesamt wies die marine Tierwelt des Kambriums noch urtümliche Züge auf, doch treten schon deutliche Faunenprovinzen hervor, z. B. eine pazifische, eine nordeuropäische und eine mediterrane.

Im Ordovizium und im Silur herrschten nach wie vor die marinen Wirbellosen in der Tierwelt vor. Ihr Formenreichtum war jetzt bedeutend angewachsen. Es traten zahlreiche neue Gruppen von Wirbellosen in Erscheinung. Eine besonders weitverbreitete, typische Tiergruppe der uferfernen Meeresregionen waren die ein chitinisches Außenskelett tragenden Graptolithen (Branchiotremata, Hemichordata). Es handelte sich um z. T. am Boden oder an Tangen sesshafte oder mehr an Blasen schwebende, einzelne oder stock- und kolonienbildende Organismen. Bereits seit dem Mittelkambrium und bis ins Unterkarbon

*Graptolithen als Leitfossilien des Ordoviziums und des Silurs. Das Schaubild zeigt die ungefähre zahlenmäßige und zeitliche Verbreitung von 128 Gattungen. 1 – Dictyonema, 2 – Tetragraptus, 3 – Didymograptus, 4 – Dicellograptus, 5 – Pleurograptus, 6 – Orthograptus, 7 – Dicellograptus, 8 – Orthograptus, 9 – Rastrites, 10 – Monograptus spiralis, 11 – Retiolites, 12 – Cyrtograptus, 13 – Monograptus (verändert und ergänzt nach A. H. Müller)*

Karbon  
Devon  
Silur  
Ordovizium  
Kambrium



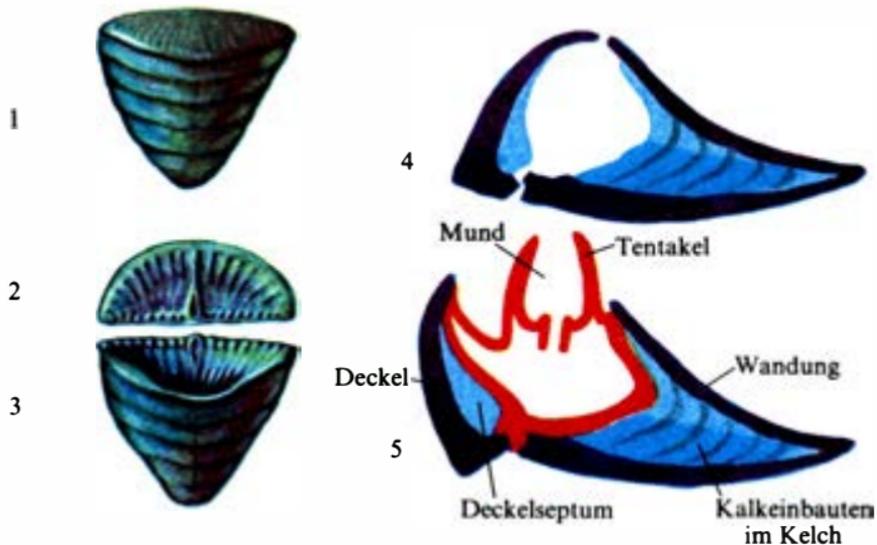
verbreitete, korbartig bis buschförmig verzweigte Formen wurden im Verlauf der Entwicklung von selbständigen Formen mit Schwebelassen abgelöst. Vielästige Graptolithen wurden über Zweiäster zu Einzeilern abgebaut, die auf das Silur beschränkt sind. Diese zeitlich so gut festlegbaren Veränderungen in der stammesgeschichtlichen Entwicklung machten die Graptolithen zu wertvollen Zeitmarken im Verlauf des Ordoviziums und des Silurs. Sie sind für den Erdgeschichtsforscher unentbehrlich geworden.

Dieser Fauna stand eine sich rasch entfaltende Organismenwelt der sandig-kalkigen Flachwassergebiete im Ordovizium gegenüber. Hier herrschte eine Lebewelt von großer Mannigfaltigkeit vor, deren kalkhaltige Körperreste organogene Kalksteine bildeten. Riffkalke deuten auf ein mild-warmes Klima während dieser Zeit hin.

Von besonderer Bedeutung waren wieder die Trilobiten. Sie standen jetzt auf dem Gipfel der Entwicklung. Nun besaßen sie höher entwickelte Fazettenaugen, eine geringere Anzahl von Rumpfsegmenten, einen größeren Schwanzschild und die Fähigkeit, sich einzurollen. Oft gab es auch hochspezialisierte Formen mit breiten Siebplatten und Stacheln am Kopfschild, z. B. *Cryptolithus*, *Harpes*. Sie waren freibewegliche Bodentiere oder Schwimmer.

Neben den Trilobiten gewannen die zu den Kopffüßern gehörenden Nautiliden große Bedeutung. Zu ihnen gehört der noch heute lebende *Nautilus pompilius* (»Perlboot«). Im Silur erlebten die Nautiliden eine erste Blütezeit. Vertreter wurde diese Tiergruppe durch die gestreckten Formen, wie *Michelinoceras* (= *Orthoceras*), das »Geradhorn«, den kurzlebigeren *Endoceras*, und Formen mit teilweiser Einrollung des Gehäuses, wie den bischofsstabartigen *Lituites*.

Häufig waren im Ordovizium auch die Schnecken. Im Vergleich zu den ältesten Schneckengehäusen aus dem Kambrium, die in einer Ebene aufgerollt waren, entfalteten sich nun die spiralig aufgewundenen Formen. Die Muscheln waren in ihren Hauptordnungen bereits vorhanden und traten jetzt in großer Formenvielfalt auf.



Die Pantoffelkoralle, ein Leitfossil des Mitteldevons. 1 – Koralle geschlossen, 2 – Deckel von innen, mit Deckelseptum, 3 – Kelch der geöffneten Koralle, 4 – Längsschnitt mit geschlossenem Deckel, 5 – Längsschnitt mit geöffnetem Deckel und fangbereit ausgestreckten Tentakeln (verändert nach Wedekind und R. Richter)

Unter den Armfüßern erreichten die Kalkschaler mit und ohne Armgerüst über die Hornschaler das Übergewicht und haben stellenweise Leitwert.

Drei weitere Tiergruppen gewannen nun mehr an Bedeutung: die Kieselschwämme, z. B. *Astylospongia*, die Moostierchen oder Bryozoen und die Stachelhäuter oder Echinodermen.

Die günstigen Austauschbedingungen zwischen den verschiedenen Beckenteilen des Weltmeeres verhinderten im Ordovizium das **Entstehen** so deutlich ausgeprägter Faunenprovinzen wie im Kambrium. Viele marine Tiergruppen traten daher weltweit in den Meeren auf. Das Klima schien ausgeglichener und günstig für eine rasche Entwicklung der Lebewelt zu sein. Außerordentlich wichtig ist im Ordovizium das Erscheinen der ersten Wirbeltiere, der Panzerfische.

Noch beherrschten die marinen Wirbellosen auch im Silur das Bild der Organismenwelt. Obgleich die Wirbeltiere sich deutlich weiterentwickelt hatten,

standen sie nach Artenreichtum und Individuenzahl noch im Hintergrund. Sie waren in lagunären und Süßwassergebieten verbreitet.

Typische Tiergruppen der Wirbellosen waren in der Stillwasserfazies weiterhin die unkompliziert gebauten Graptolithen mit leichten Chitingerüsten. Die merkliche Verarmung der Graptolithenfaunen führte am Beginn des Devons zum allmählichen Aussterben der Tiergruppe, die dann im Unterkarbon endgültig erlosch.

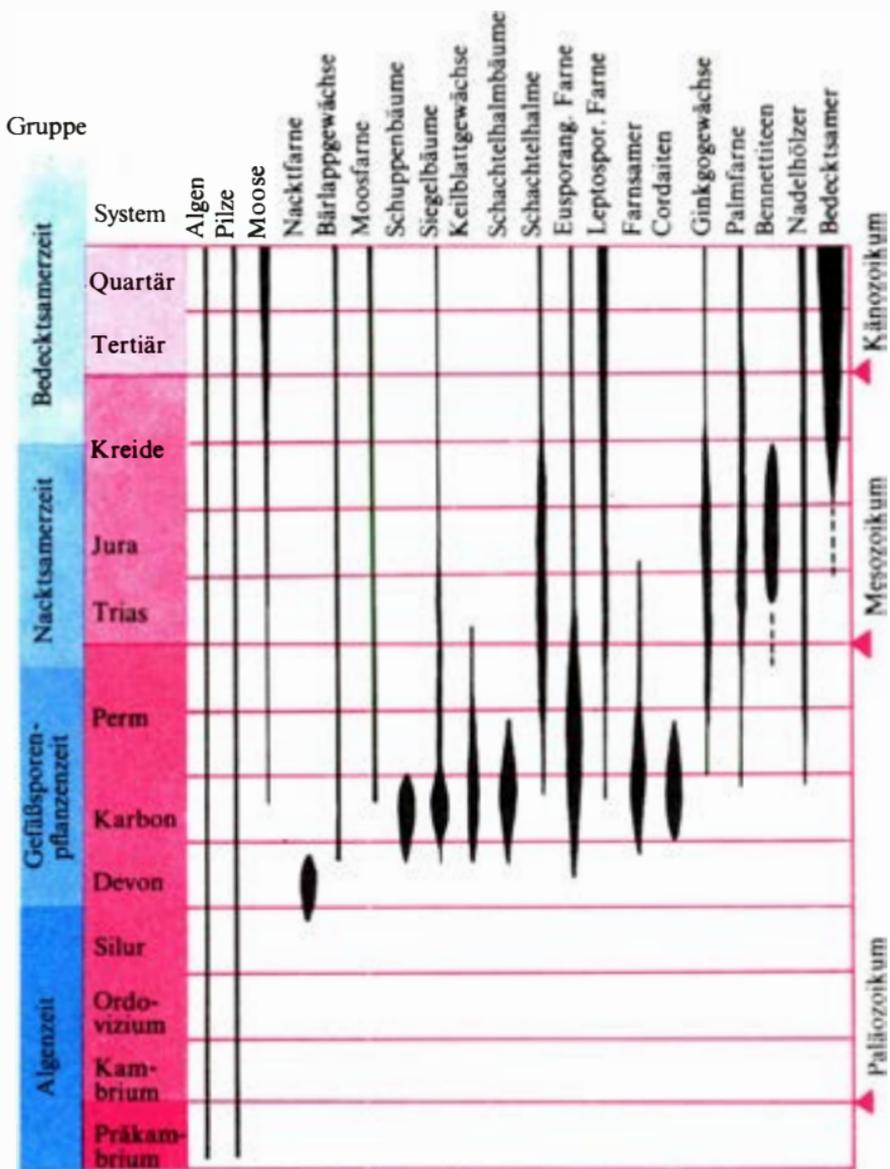
In den Flachwassergebieten kamen neben den Brachiopoden stark bestachelte Trilobiten mit gekörnelt Panzern vor, daneben die bis zwei Meter langen Riesenkrebse (Gigantostraken), z. B. *Eurypterus* und *Pterygotus*, die ebenfalls zu den Gliederfüßern gehören.

Die Korallen nahmen im Silur rasch an Formenreichtum, Häufigkeit und regionaler Verbreitung zu. Es sind hauptsächlich aus engen Röhren gebaute Bödenkorallen (Tabulaten), wie die Kettenkoralle *Halysites* und die trichterförmigen Septenkorallen (Rugosen), z. B. die eigenartige Pantoffel- oder Deckelkoralle *Calceola sandalina*. Am Bau dieser erstmalig weltweit verbreiteten Riffe aus Korallen im Bereich warmer Flachseegebiete wirkten ferner die Moostierchen (Bryozoen) und die Schwämme (Spongien), aber auch Kalkalgen mit.

Die Stachelhäuter, vor allem die Seelilien (Crinoiden), bildeten mit ihren Kalkskeletten gelegentlich ganze Gesteinspakete. Die Stielglieder (Trochiten) dieser Seelilien reicherten sich mitunter auf dem Meeresboden so massenhaft an, daß Gesteinsbänke entstanden, sogenannte Trochitenkalke oder Schraubensteine. Durch Ausbildung schwerer Kelche aus festverbundenen Platten und mit kräftigen Armen paßten sich die Crinoiden dem Riffleben an.

## Erste Landpflanzen an der Grenze Silur/Devon

Die eigentliche Geschichte der Pflanzenwelt beginnt mit dem Auftreten der ersten Landpflanzen an der Grenze Silur/Devon. Es ist das Zeitalter der Nacktpflanzen, das



Die Entfaltung der wichtigsten Pflanzengruppen (ergänzt und verändert nach Mägdefrau)

Pteridophytikum oder Paläophytikum. Im Gefolge der Kaledonischen Gebirgsbildung fand in Europa ein Meeresrückzug statt, weite Festlandsgebiete entstanden. In diese Zeit fällt die Landnahme durch die Pflanzenwelt, deren Entstehen vermutlich mit dem Zurückweichen



*Landschaft mit Nacktpflanzen (Psilophyten) im Unterdevon. 1 – Rhynia, 2 – Horneophyton, 3 – Sciadophyton, 4 – Zosterophyllum, 5 – Psilophyton, 6 – Drepanophycus (verändert nach Barthel und Mägdefrau)*

der flachen Schelfmeere zusammenhängt. Diese ältere Zeit des Pteridophytikums heißt auch Psilophytenzeit, Zeit der Nacktfarne oder Umlandpflanzen. Sie dauerte von Obersilur bis zum Mitteldevon. Im Aussehen dieser urtümlichen Pflanzen herrschte die Algengestalt noch vor. Blätter im eigentlichen Sinne waren noch nicht entwickelt, sondern nur dornenartige Fortsätze. Die Pflanzen waren echte Landbewohner, bei denen die alten Algenmerkmale schrittweise verdrängt wurden. Diese Anpassung an das Leben außerhalb des Wassers bedingte einen Wandel in der Lebensweise.

Es waren meist kleinwüchsige Pflanzen mit einem kriechenden Rhizom, einer unterirdischen, als Speicher dienenden bleichen Sproßachse. Als Fortpflanzungskörper bildeten sich widerstandsfähige Sporen in Sporenkapseln aus, jedoch noch gleichspornig (isospor). Die Pflanze entwickelte eine Epidermis mit Spaltöffnungen

zum Schutz gegen das Austrocknen und zentrale Leitbündel. Als biochemische »Neuerwerbungen« müssen das die Blattoberhaut (Kutikula) nach außen abschließende Kutin und das Lignin in den Wänden der Stützzellen gelten. Im Mittel- und im Oberdevon erscheinen dann schon höher organisierte Pflanzen, wie kleine krautige und »baumförmige« Typen von Bärlappgewächsen und echte Farne.

Bei den Nacktpflanzen (Psilophytales) unterscheidet man nach der äußeren Gestalt drei Gruppen: 1. nackte oder »blattlose« Formen, z. B. *Rhynia*, *Eogaspesia*, *Sciadophyton*, *Zosterophyllum*; 2. mikrophylle (klein-»blättrige«) Formen oder solche mit wenigstens dornartigen Sproßachsenanhängseln, z. B. *Psilophyton*, *Drepanophycus*, *Thursophyton* (= *Asteroxylon*), *Hyenia*;

*Die Pflanzenwelt des Mitteldevons (Hyenia-Flora). 1 – Thursophyton (= Asteroxylon), 2 – Hyenia, 3 – Duisbergia, 4 – Aneurophyton, 5 – Pseudosporochnus, 6 – Archaeosigillaria (Bärlappgewächs) (verändert nach Barthel und Mägdefrau)*



3. makrophyllie Formen (mit größeren »Blättern«), z. B. *Duisbergia*, *Aneurophyton*, *Pseudosporochnus*.

Die Psilophyten- und die Hyeniaflora waren auf der Erde weit verbreitet. Sie besiedelten hauptsächlich die feuchten Senken des Festlandes. Es entstanden auch die ältesten Kohlenflöze der Erde: Sie lieferten auf der Bäreninsel (Spitzbergen) besonders reichhaltige paläontologische »Fundgruben«.

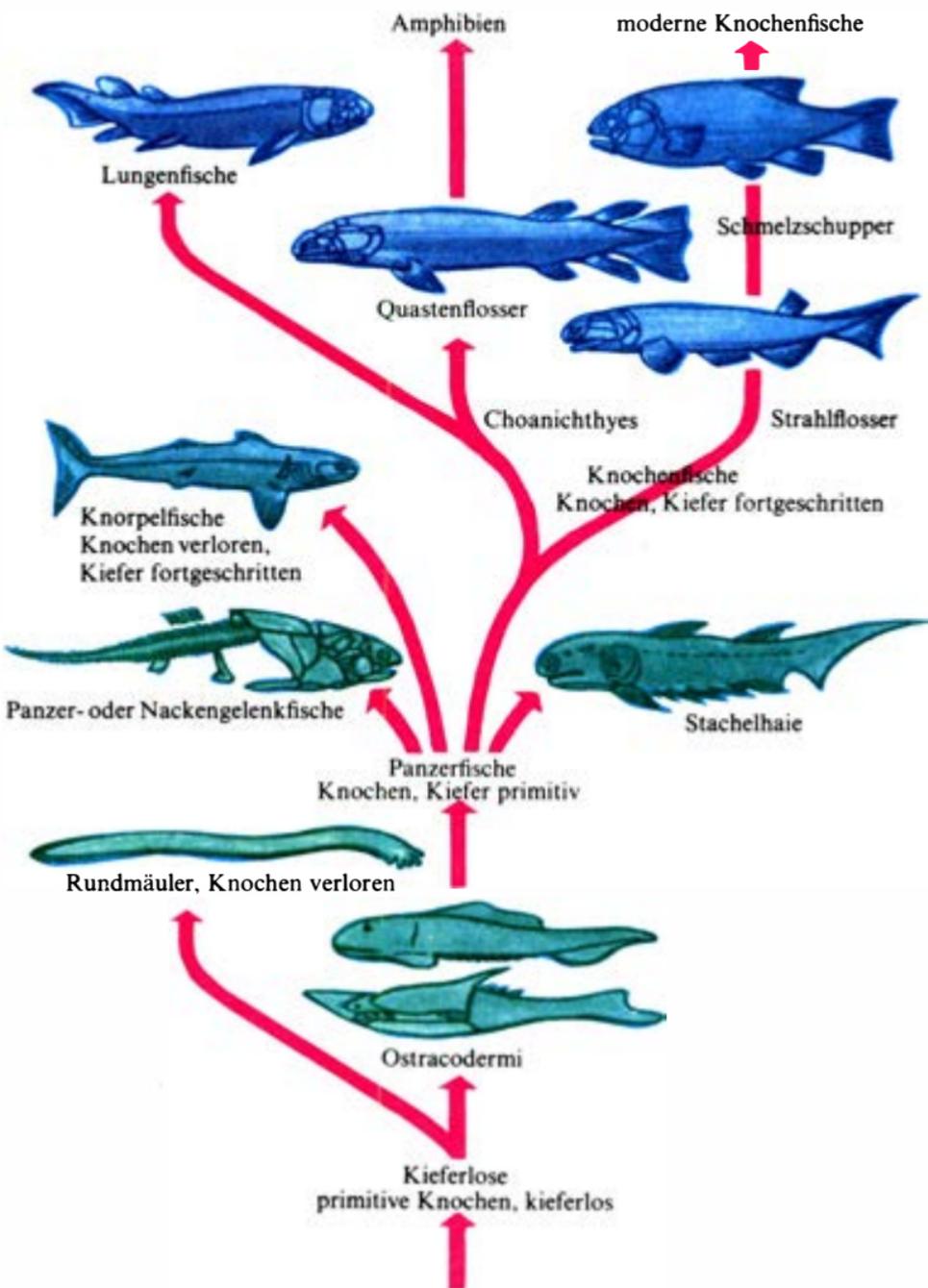
Der Psilophytenzeit folgte die Pteridophytenzeit, die Zeit der höheren Sporenpflanzen, unterteilt in Pterophytikum während des Oberdevons, in Pteridospermo-phytikum (Farnsamer) während des Unterkarbons und die Variskische Epoche vom Oberkarbon bis zum Unterperm. Hier vollzog sich in der Pflanzenwelt ein »Florensprung«, der Wechsel vom Paläophytikum zum Mesophytikum, von den höheren Sporenpflanzen zu den Nacktsamern.

## Zeitalter der Kieferlosen und der Fische

Ein Blick auf die Evolution der vollmarinen Wirbellosen des Devons zeigt, daß die Entwicklung zu noch größerer Formenfülle zunächst stetig weiterging.

Die verbreitetsten Tiergruppen, die auch für die Standardgliederung als Leitform bedeutend sind, waren z. B. die Brachiopoden (Armfüßer) mit den Spiriferen. Sehr stark entfalteteten sich die Ammonoideen, speziell die Altammoniten, mit den glattschaligen Goniatiten und den Clymenien. Sie lieferten die wichtigsten Leitformen des Oberdevons. Die Korallen waren als untermeerische Riffbildner wichtig. Vielmehr jedoch als die Wirbellosen gewannen jetzt die Wirbeltiere an Bedeutung.

Die ersten Wirbeltiere der Fossilüberlieferung, belegt durch isolierte Schuppen von »Fischartigen«, stammen bereits aus Süßwasserablagerungen des Ordoviziums von Estland (UdSSR) und Colorado (USA). Sie lebten zunächst marin und in Küstennähe, und erst am Ende des Silurs eroberten sie den brackischen und limnischen Lebensraum in seichten Flüssen und Seen. Es sind die Kieferlosen oder Agnathen, früher auch Ostracodermen

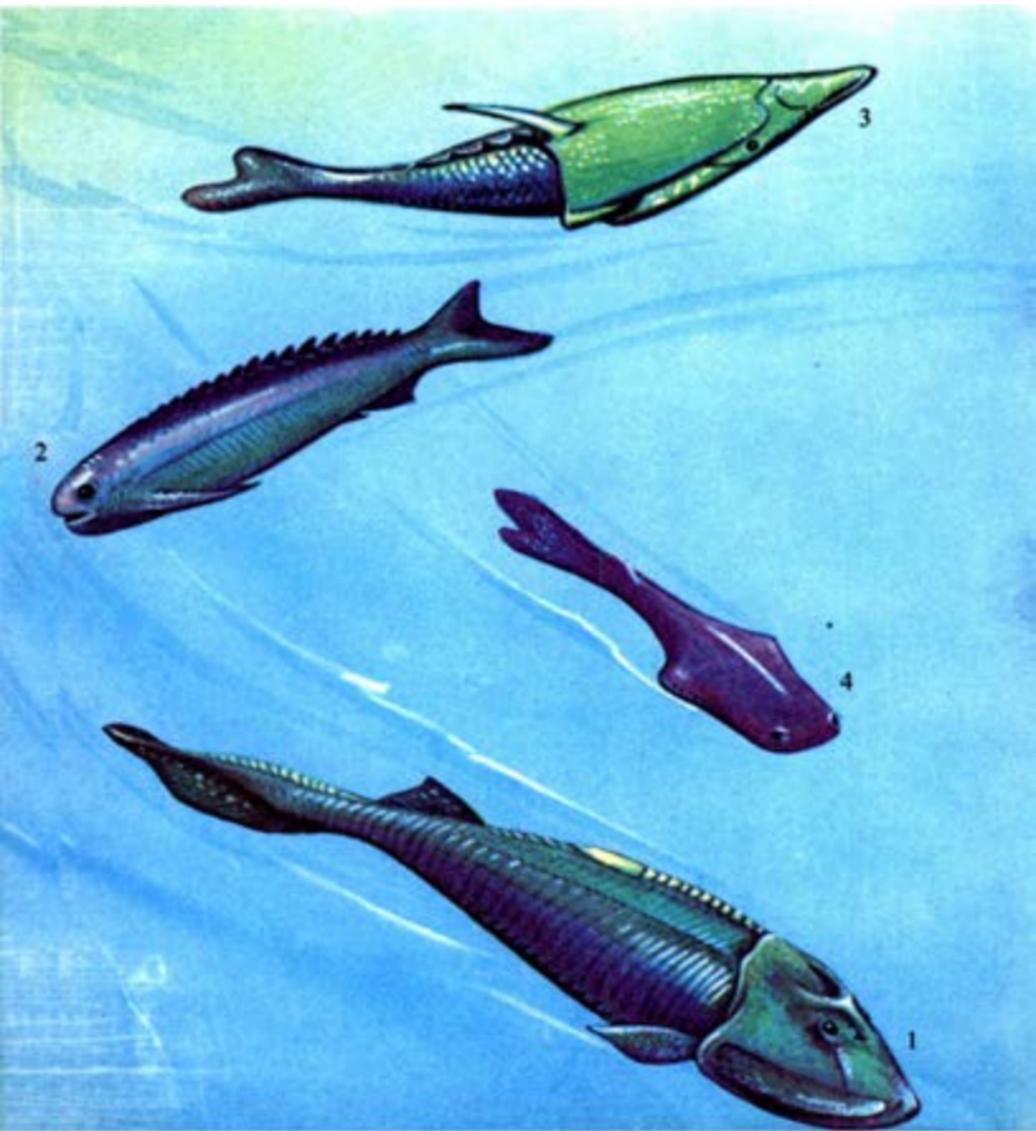


*Stammbaum der niederen Wirbeltiere (Fische), (nach Romer)*

genannt. Sie stellen das Ende einer alten Vertebratenentwicklung dar. Die Agnathen sind kieferlose und flossenlose Wirbeltierformen mit Saugmund und ohne knöchernes Innenskelett. Sie gehören in die Verwandtschaft der heutigen Rundmäuler oder Cyclostomen (panzerlose Agnatha).

Typisch für die Kieferlosen ist ein gut entwickelter, schwerer äußerer Panzer (Kopf- oder Kopfbrustpanzer)

*Ostracodermen, kieferlose Wirbeltiere des Silurs und Devons.*  
1 – *Pteraspis*, 2 – *Pterolepis*, 3 – *Thelodus*, 4 – *Hemicyclaspis*  
(verändert nach Colbert)



aus Knochenplatten oder Schuppen. Ihre Blütezeit lag an der Grenze Silur/Devon. Am Ende des Devons konnten sie sich jedoch nicht gegen die kiefertragenden direkten Ahnen der Wirbeltiere, die eigentlichen Fische, behaupten. Diese Kiefermäuler oder Kiefermünder (Gnathostomata) waren zu Beginn des Devons mit einer Fülle von Bauplänen in Erscheinung getreten. Ihnen war es möglich, die Gewässer zu erobern, sie hatten eine räuberische Lebensweise und konnten aktiv schwimmen im Gegensatz zu den vorangegangenen ortsständigen Typen.

Diese frühesten der Kiefer und paarige Flossen tragenden Wirbeltiere wurden zusammen mit den gepanzerten Agnathen auch Placodermen oder Panzerfische genannt. Es ist eine sehr heterogene Gesellschaft, die nicht eng miteinander verwandt gewesen sein kann. Sie werden als »alte Experimente« in der Evolution der Wirbeltiere angesehen, deren Entwicklung fehlschlug. Die Organisationshöhe der Haie (Selachier) und der Knochenfische (Osteichthyes) hatten sie noch nicht erreicht.

Die urtümlichsten und dauerhaftesten Panzerfische sind die Stachel- oder Dornhaie (Acanthodier). Ihren Namen erhielten sie von Stacheln bzw. Dornen, die sie vor jeder Flosse trugen. Mit den echten Haien sind sie nicht verwandt. Sie waren ausgesprochen schnellschwimmende Sehtiere, Haie dagegen sind Riechtiere und besitzen auch echte Kiefer.

Eine Zeitlang beherrschten die Arthrodiren das Devon. Es waren gefährliche, aber ansehnliche Raubfische, die auch als Panzer- oder Nackengelenkfische bezeichnet

*Verschiedene Panzer- oder Nackengelenkfische des Devons in Vorderansicht. 1 – Pholidosteus bidorsatus, 2 – Enseosteus iaekeli, 3 – Rhinosteus traquairi, 4 – Brachydirus carinatus, 5 – Leptosteus bickensis, 6 – Oxyosteus rostratus (nach H. Schmidt)*



werden. Ein sehr typischer Arthrodire ist der 8 bis 10 m lange *Coccosteus*. Sein schwer gepanzerter Kopf war gelenkig mit dem Brustpanzer verbunden. *Coccosteus* war weltweit verbreitet (Eurasien, Nordamerika, Arktis, Afrika, Australien und Antarktis).

Kieferlose Wirbeltiere und »Panzerfische« vertreten und kennzeichnen die beiden ersten Entwicklungsstadien der Wirbeltiere in Silur und Devon. Sie sind nur fossil erhalten geblieben. Aus ihren frühen Formen entwickelten sich die echten Fische.

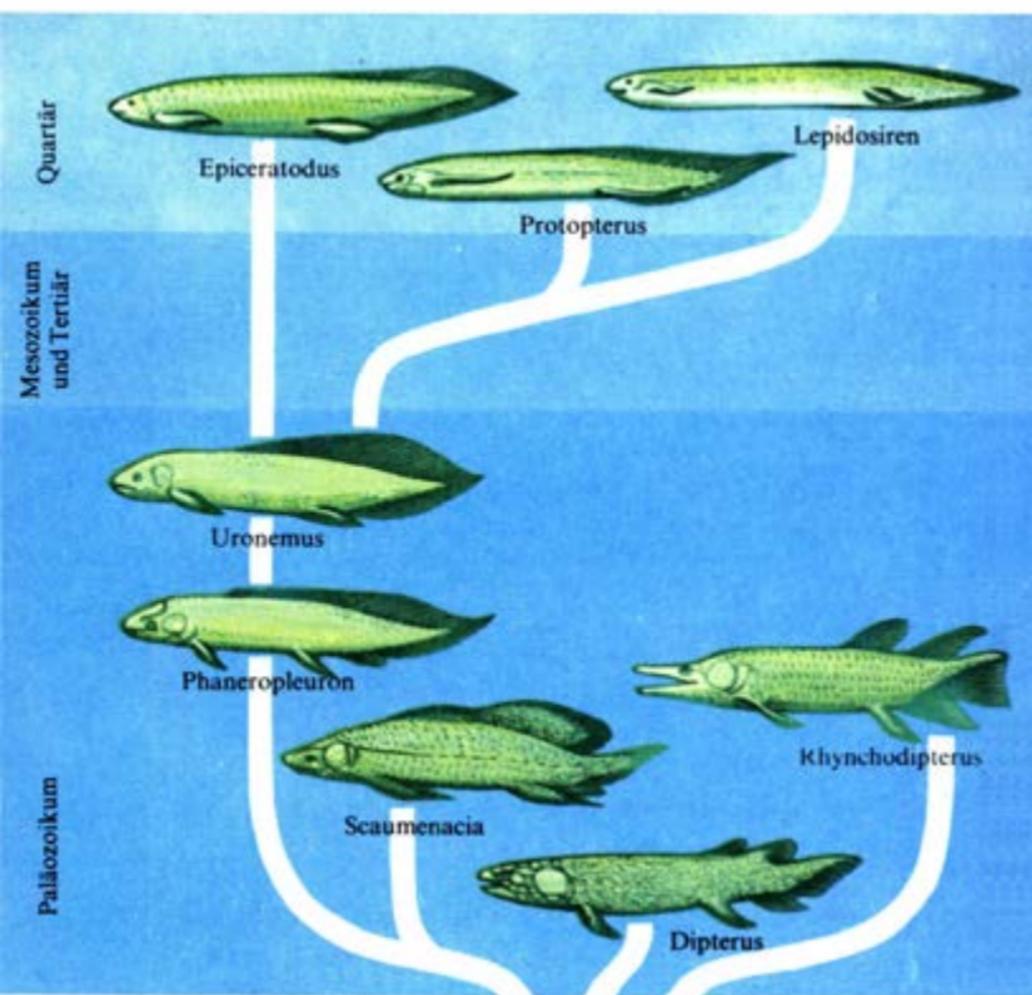
Alle höheren, echten Fische (Pisces), die es auch gegenwärtig noch gibt, werden zwei großen Klassen zugewiesen: den Knorpelfischen (Chondrichthyes) und den Knochenfischen (Osteichthyes, Teleostomi). Die erste Gruppe trat bereits im Mitteldevon auf, die letztere kam im Unterdevon erstmalig zahlreich vor und entfaltete in der Folgezeit eine immer größere Formenfülle.

Die Knorpelfische wurden vertreten durch die meist fleischfressenden Haie (Selachii), die bodenbewohnenden Rochen (Batoidei) und die von Weichtieren lebenden Chimären oder Seedrachen sowie ihren Verwandten. Ihr Innenskelett bestand aus Knorpel. Flossenstacheln und Zähne waren die einzigen harten Teile ihres Körpers, die dann auch fossil erhalten geblieben sind.

Viele Entwicklungslinien der Haie starben am Ende des Erdalterums aus, doch sind einige von ihnen in beschränkter Anzahl noch heute in den Ozeanen anzutreffen.

Von allen Tieren, die im Wasser gelebt haben, gehören die Knochenfische zu den erfolgreichsten, so daß man sie mit Recht als die »Herren des Wassers« bezeichnen kann. Anpassung an das Leben im Wasser durch entsprechend perfektionierte Schwimmmethoden und Nahrungsaufnahme ließen die Knochenfische in alle Gewässer der Erde eindringen: in kleine Flüsse, Ströme, Seen, Teiche und bis in die größten Tiefen der Ozeane.

Ein charakteristisches Merkmal dieser Tiergruppe ist ein inneres und äußeres verknöchertes Skelett. Die primitivsten Arten unter ihnen waren Doppelatmer, sie besaßen neben den Kiemen noch Lungen. Diese Lungen entwickelten sich offenbar in Abhängigkeit von den



*Die Entwicklung der Lungenfische (nach Thenius)*

klimatechnischen Verhältnissen während des Devons. Der Wechsel von Regenzeiten und Dürreperioden führte damals zum zeitweisen Austrocknen der Flüsse und Tümpel bzw. zu einer Verringerung des Sauerstoffgehaltes im Wasser. Lungenlose Fische wären dann schwer gefährdet gewesen. Fische mit primitiven paarigen Lungen (Lungensäcke) dagegen konnten sich den lebensnotwendigen Sauerstoff an der Wasseroberfläche holen.

Bei den höheren Fischen sind drei getrennte Entwicklungslinien zu beobachten, die schon seit dem

Devon bekannt sind: die Strahlenflosser (Actinopterygii), die Lungenfische (Dipnoi) und die Quastenflosser (Crossopterygii).

Die ältesten Strahlenflosser waren Raubfische und finden sich fossil in mitteldevonischen Süßwasserablagerungen. Sie waren bereits zu Beginn des Devons sehr artenreich. Seit der Trias wurde das Meer zum Zentrum ihrer Entwicklung. Die Knochenfische im engeren Sinne (Teleostier) entfalteten sich hauptsächlich in der Kreidezeit. Im Tertiär besaßen sie dann ein bereits modernes Gepräge und haben sich als Meeresbewohner mit der Mehrzahl ihrer Arten bis heute erhalten.

Die Lungenfische (Dipnoi) hatten ihre Blütezeit im Devon und im Karbon. Sie waren damals weltweit marin und kontinental verbreitet, während sie heute nur noch als Süßwasserformen auf der Südhalbkugel der Erde, in Australien, Afrika und Südamerika, erhalten geblieben sind. Ihre Nahrung besteht aus Pflanzen und wirbellosen Tieren.

Die dritte Gruppe der Knochenfische, die Quastenflosser, sind für die stammesgeschichtliche Entwicklung als Stammgruppe der Wirbeltiere von ganz besonderer Bedeutung, da sie nahezu ideale Übergangsformen, sogenannte connecting links, oder Zwischenformen zu den Amphibien lieferten.

Sie besaßen bereits alle Voraussetzungen für ein erfolgreiches Leben auf dem Lande, z. B. Lungen, Nasen-Rachen-Gänge sowie Vorbildungen der Fußgliedmaßen. Diese und andere Merkmale kennzeichnen sie als die unmittelbaren Vorfahren der Amphibien, der vierfüßigen Landwirbeltiere (Tetrapoden).

Die Quastenflosser gliedern sich in Coelacanthiden (Hohlstachler) und in Rhipidistier.

Die Coelacanthiden erschienen im Devon in marinen Ablagerungen, nur ein Exemplar wurde bisher in kontinentalen Ablagerungen Spitzbergens gefunden. Geologisch jüngere Funde deuten auf eine gute Anpassungsfähigkeit dieser Fische hin und darauf, daß sie das Milieu wechseln konnten. Als Lebensräume bevorzugten sie mäßig tiefe, felsige Meeresgründe.

Die Coelacanthiden, zu denen *Latimeria chalumnae*

gehört, lebten räuberisch. Ihre Blütezeit lag in der Trias, man nahm an, daß sie in der Oberkreide ausgestorben seien. Daher war die Überraschung sehr groß, als man im Dezember 1938 an der Ostküste Südafrikas, bei East London, ein Tier ganz besonderer Art fing. Es war ein Fisch mit glänzenden runden und großen stahlblauen Schuppen, grüngelb leuchtenden Augen und paarigen, langen und kräftigen Flossen. Er erwies sich als erster lebender Vertreter der Hohlstachler. Leider ließ sich von diesem Exemplar nur die Haut retten. Doch 1952 gelang es, bei den Komoren einen zweiten, 1,4 m langen Vertreter (*Malania anjouanae*) zu erbeuten, dem etwa 30 weitere Exemplare folgten, die gegenwärtig wissenschaftlich untersucht werden. Neueste Funde aus dem Jahre 1972 stammen von einer anglo-französisch-amerikanischen Forschungsexpedition, durch die ebenfalls an der Westküste der Großen-Komoren-Insel vor Ostafrika ein junges, 10 kg schweres Weibchen und noch ein 78 kg schweres und 1,63 m großes Weibchen gefangen wurden. Diese neuen Exemplare weisen zahlreiche Anomalien des inneren Körperbaues auf.

Die zweite Gruppe der Quastenflosser, die Rhipidistier, sind ausgesprochen räuberische Süßwasserbewohner in flachen Binnengewässern. Sie zeigen eine überwältigende Häufigkeit im Oberdevon, im Karbon traten sie zurück und verschwanden im Unterperm ganz. Es ist anzunehmen, daß ihr Aussterben mit dem Auftreten ihrer Nachkömmlinge, der Amphibien, zusammenhängt, denen sie im Konkurrenzkampf unterlagen.

Verfolgen wir noch die Entwicklung der anderen Organismen. Unter den Wirbellosen traten im Karbon erstmals die gerüsttragenden Einzeller (Protozoen) oder Urtiere auf. Insbesondere die Foraminiferen waren in großem Ausmaß im Oberkarbon und im nachfolgenden Perm gesteinsbildend (Kohlenkalke des Permokarbons) und erreichten einen ersten Entwicklungshöhepunkt. Nunmehr morphologisch einfach gebaute Korallen gingen bereits erheblich in ihrer Entwicklung zurück und erloschen im Perm fast vollständig.

Brachiopoden erreichten teilweise im offenen Meereskindskopfgröße Formen, wie *Productus horridus*. Ammo-

niten, speziell Goniatiten, waren oft charakteristisch und entwickelten eine große Formenfülle. Die Muscheln kamen mit neuen Formen zur Herrschaft. Sie erreichten speziell mit den Süßwassermuscheln, wie *Carbonaria* und *Anthracomya*, eine kurze Blütezeit.

Am Ende des Perms vollzog sich in der Tierwelt der im Karbon begonnene Übergang vom Erdaltertum zum Erdmittelalter, der sich in der Unteren Trias vollendete. Bei den Wirbellosen hatten die Brachiopoden letztmalig die Vorherrschaft unter den Lebewesen des Meeres. Ihre »barocken« Formen kündigten einen baldigen Untergang an. Im Mesozoikum wurden sie dann von den Muscheln abgelöst. Die Foraminiferen zeichneten sich durch raschen Formenwandel, große Häufigkeit und weite Verbreitung aus. Die Schnecken bewahrten ihr paläozoisches Gepräge; ihr erneuter Aufschwung erfolgte erst in der Trias und setzte sich dann bis zur Kreide fort. Echinodermen erlebten im Perm nochmals eine bedeutende Blütezeit, sie entfalteten sich in reicher Formenfülle, z. B. Seelilien, Knospenstrahler und Seeigel. Die Moostierchen beteiligten sich in großer Zahl an den Riffbauten am Rande des Zechsteinmeeres.

In den festländischen Gewässern und in den Binnenmeeren, z. B. dem Kupferschiefermeer Mitteleuropas, gewannen erneut die Fische an Bedeutung. Ihre Formen hatten sich gegenüber dem Karbon nur unwesentlich gewandelt. Echte Haie und Rochen, z. B. *Janassa*, traten auf. Die Knochenfische waren durch Schmelzschupper (Ganoiden), wie *Palaeoniscus*, *Amblypterus*, *Platysomus*, vertreten. Diese Fossilien des Kupferschiefers – sowohl Tiere als auch Pflanzen – sind mit häufig verzweigten, schönen und farbenprächtigen Formen sehr zahlreich in dem metallhaltigen, bituminösen Schiefermergel vertreten. Wichtige Fundpunkte sind die Mansfelder und Sangerhäuser Mulde, Thüringen sowie Hessen (BRD).

---

# Neue Lebensräume

---

## Amphibien erobern das Land

Der gewaltige Aufschwung der Pflanzenwelt während des Karbons ermöglichte die weitere starke Entfaltung der Amphibien innerhalb der vermoorten Senken und Sümpfe des Variskischen Gebirges. Ihre stammesgeschichtliche Blütezeit liegt im Karbon, dem nachfolgenden Perm und in der Trias, während heute nur noch wenige Vertreter, wie Froschlurche und Schwanzlurche, erhalten sind.

Die ältesten landbewohnenden Vierfüßer, die Ichthyostegalen oder Dachschrädel, können als erste Vertreter der Amphibien und primitivsten Landwirbeltiere angesehen werden. Damit ist auch in der Tierwelt endgültig der Übergang zum Landleben erfolgt. Dabei entwickelten sich nicht alle Merkmale der Quastenflosser gleichzeitig und gleich schnell in Richtung zu den Amphibien hin, sondern manche Fischmerkmale blieben noch erhalten, während sich andere schnell umbildeten. So vereinigen die ältesten Lurche, die Ichthyostegalen, Fisch- und Amphibienmerkmale in sich. Sie besitzen im erwachsenen Zustand einen Fischeschwanz, Reste des Kiemendeckels und der zweiten Rückenflosse sowie ein Seitenliniensystem und ein fünfzehiges Fußskelett.

»Kriechflossen« und Fischlunge, bei den Quastenflossern noch Sonderanpassungen an die Trockenperioden des Landes, sind nun die Voraussetzungen für ein ständiges Landleben. Doch noch waren die Amphibien zur Fortpflanzung an das Wasser gebunden, und erst nach zahlreichen weiteren Umbildungen lösten sich

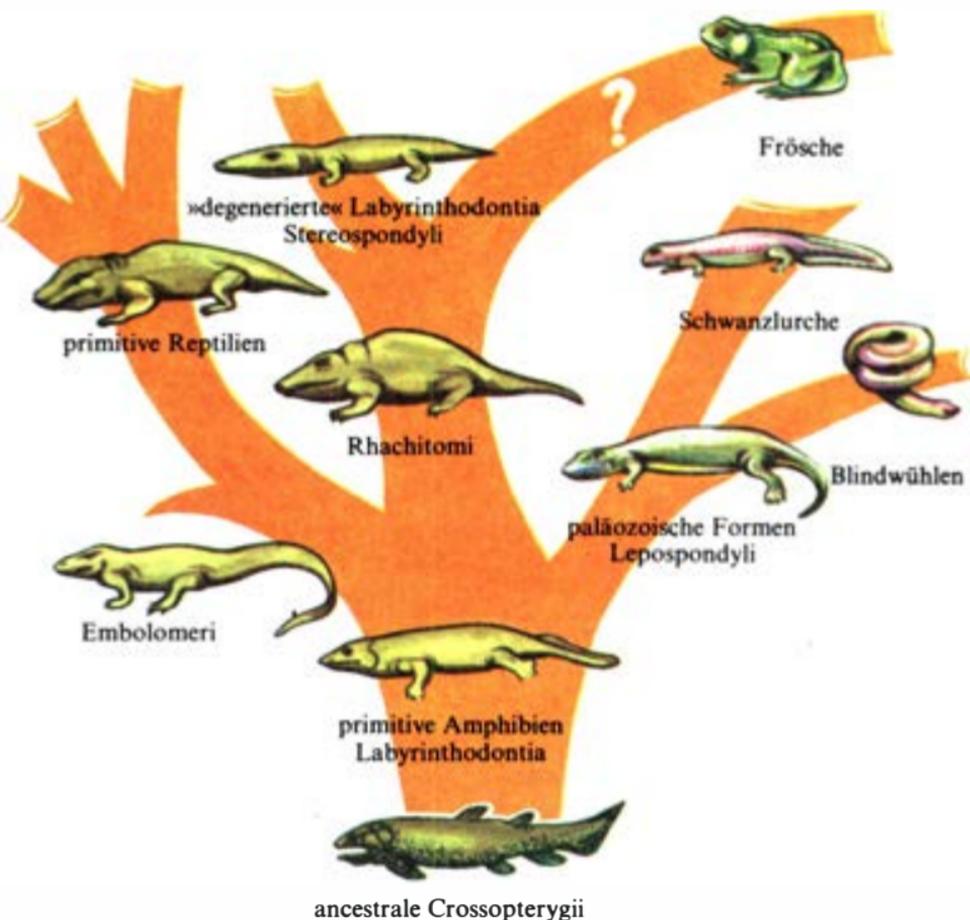
dann die Reptilien endgültig vom Wasser. Mitunter werden daher die Amphibien als besondere »Fischtypen, die das Wasser niemals entbehren konnten,« bezeichnet, und erst in den Reptilien oder Kriechtieren sieht man die »echten Beherrscher des Landes«.

Die Amphibien der Steinkohlenmoore bezeichnet man als Panzerlurche oder Stegocephalen. Der Name deutet auf ihr geschlossenes Schädeldach hin, das zwar Durchbrüche für die Sinnesorgane besitzt, aber keine Schläfengruben, wie sie für die Reptilien charakteristisch sind.

Die neuen Landtiere mußten ein vollständig verknöchertes Skelett mit einem massiven Becken- und Schultergürtel und kräftigen, säulenartigen Extremitäten besitzen, um das Körpergewicht nun selbst zu tragen. Die Wirbelsäule war stärker ausgebildet, wurde sie doch durch den ganzen Körper belastet. Ein Teil der noch vorhan-

*Ichthyostega, das älteste Landwirbeltier, aus dem Oberdevon Grönlands (nach Jarvik)*





*Die Entwicklung der Amphibien (nach Romer)*

denen Schuppen bewahrte die Haut vor dem Austrocknen; die Atmung wurde ganz auf Lungenatmung umgestellt.

Über die alten Amphibien, die Labyrinthodonten, und ihre Geschichte wissen wir gut Bescheid. Zwei heute lebende Gruppen leiten sich von ihnen ab: die Salientia (Kröten und Frösche) und die Reptilien. Bei ihnen waren die knöchernen Bauelemente der Wirbel in Knorpel vorgebildet. Mit diesem Wirbeltyp gelangten sie als erste Landwirbeltiere zur Herrschaft und wurden während des Perm und der Trias sehr zahlreich.

Dies waren aber nicht die einzigen Amphibien – sie teilten ihren Lebensraum mit den Lepospondylen, bei

denen die Wirbel nicht knorpelig vorgeformt, sondern spindelförmige, knöcherne Zylinder waren. Sie erschienen schon im Unterkarbon, der Höhepunkt ihrer Entwicklung lag im Oberkarbon und im Perm. Bis heute leben sie als Schwanzlurche und Blindwühlen weiter.

Insgesamt gesehen, stellen die Amphibien möglicherweise ein Durchgangsstadium zwischen den Quastenflossern und den Kriechtieren dar. Fischartig lebend, können sie dauernd ohne das Wasser nicht auskommen, ihr Skelett ähnelt aber schon stark dem der Reptilien.

## Die Steinkohlenwälder des Karbons

Bereits während des Devons hatte sich die erste Festlandsflora entwickelt, die nun mit Beginn des Karbons einen mächtigen Aufschwung erhielt. Die durch die Variskische Gebirgsbildung entstandenen wasserreichen Becken und Senken sowie feuchtes und warmes Klima schufen die denkbar günstigsten Lebensbedingungen für eine üppige Pflanzenwelt. Auf der Nordhalbkugel der Erde entstanden die ersten großen Urwälder, deren Sporenpflanzen das Ausgangsmaterial für die weltweit verbreiteten Steinkohlenflöze lieferten. Die Pflanzenwelt wurde jetzt von den höheren Sporenpflanzen (Bär-



Grundwasser-  
spiegel

Fusite,  
sporenarme  
Durite

Vitrite und sporenarme Clarite (Glanzkohlen)

Waldmoore

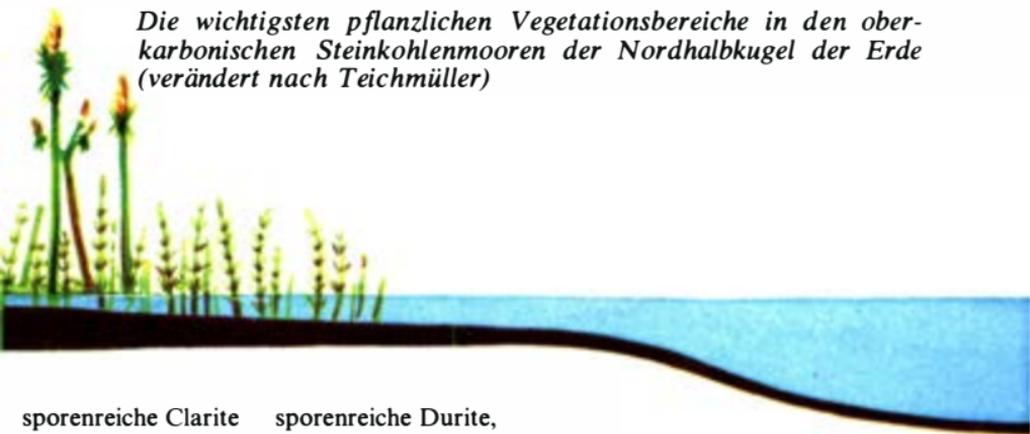
lappgewächsen, Farnen und Farnsamern, Schachtelhalmen, Cordaiten) beherrscht.

Stand in der Entwicklung bis zur **Grenze** Mittel-/Oberdevon die Ausbildung der Pflanzengestalt im Vordergrund, so veränderten sich jetzt die Fortpflanzungskörper, die Sporen. Ein großer Teil der Landpflanzen wurde heterospor, bildete also männliche Mikrosporen und weibliche Makrosporen aus. Bei einigen Pflanzenarten entstanden bereits von Gewebe umschlossene Fortpflanzungskörper, die Samen.

Die Aderung der farnlaubigen Gewächse entwickelte sich von der Fächeraderung im Unterkarbon über die Fiederaderung im Oberkarbon zur Maschen- bzw. Netzaderung, ähnliches gilt für die Umrißformen der Blätter.

Die charakteristischsten höheren Sporenpflanzen der Steinkohlenwälder waren die Bärlappgewächse (Lycopodiales). Diese 15 bis 30 m hohen, gigantischen, baumförmigen Gewächse besaßen mehrfach gabelig verzweigte Kronen, die in Büschel aus langen, schmalen Wedeln ausliefen. Hierzu gehören die Siegelbäume (Sigillarien) und die Schuppenbäume (Lepidodendren). Ihren Namen verdanken die Sigillarien den ehemaligen Blattansatzstellen, typisch rhombischen bis quadratischen Blattpolstern oder Blattnarben. An den Enden der letzten

*Die wichtigsten pflanzlichen Vegetationsbereiche in den oberkarbonischen Steinkohlenmooren der Nordhalbkugel der Erde (verändert nach Teichmüller)*



sporenreiche Clarite

sporenreiche Durite,  
Clarite mit ausgeprägter  
Mikroschichtung,  
Kutikulenclarite  
(Mattkohlen)

Kännel- (Sporen-)  
und Boghead-  
(Algen-) Kohlen

Moorseen

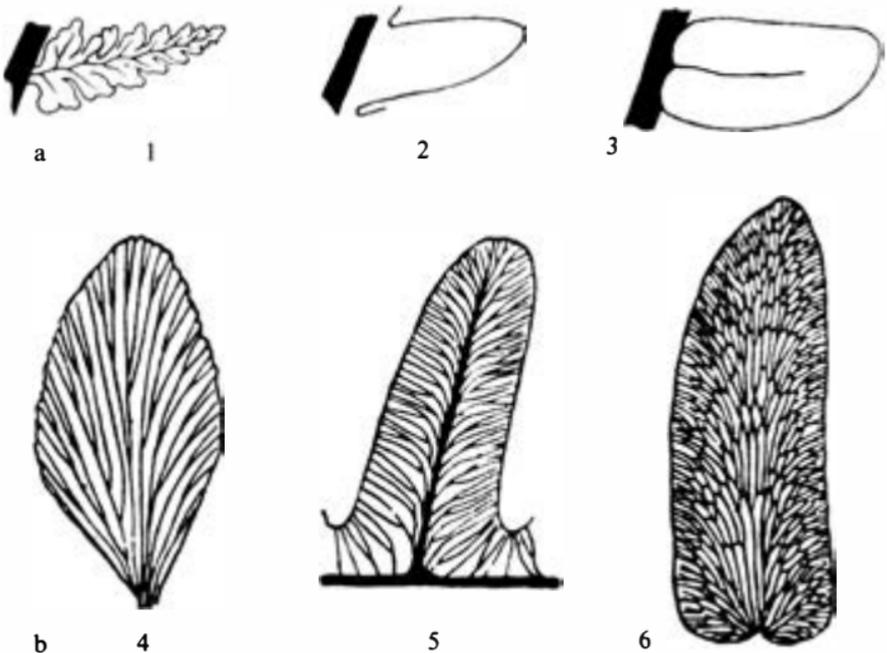
69

Zweige bildeten sich Zapfen aus, aus denen zur Reifezeit die Sporen herausfielen. Das obere Stammende war einfach gegabelt oder mit grasähnlichen, steifen Blättern, die einen Schopf bildeten, versehen. Neben den Bärlappern traten ebenfalls baumartige, zu den Vorfahren der Schachtelhalme (Articulaten) gehörende Calamiten oder Riesenschachtelhalme auf. Sie erreichten bei 1 m Durchmesser fast 20 m Höhe und wuchsen in dichten Beständen im seichten Uferwasser der Seen und Sümpfe. Die Stämme waren durch Internodien und Nodien (Knoten) gegliedert und mit einer Längsrifung versehen. Neben diesen Baumriesen gedieh eine üppige Bodenvegetation (Moose, Lebermoose, krautige und kriechende Bärlappgewächse, Bodenfarne). Als Kletterpflanzen – ähnlich den Lianen – traten Keilblattgewächse (Sphenophyllen) auf.

Die Farne (Filices) wurden durch die Altfarne (Coenopteriden) und später, im Oberkarbon, durch schlanke, 10 bis 12 m hohe Baumfarne (Marattiaceen) vertreten. Ihnen fehlte sekundäres Dickenwachstum. Sie besaßen ein zentrales Leitbündel mit einem sich nach unten verstärkenden Mantel aus Luftwurzeln, der als Stütze diente. Fossil finden wir sie in Form verkieselter Hölzer als sogenannte Psaronien oder Starsteine. Sie fallen wegen ihrer Struktur, die an das Hochzeitsfederkleid der Stare erinnert, besonders auf. Ihre mitunter prächtigbunte Färbung entstand durch Achatausfüllung der Leitbündel. Das berühmteste Vorkommen dieser Kieselhölzer befindet sich bei Karl-Marx-Stadt in der Erzgebirgischen Rotliegendmulde (»Steinerner Wald« von Karl-Marx-Stadt).

Außer echten Farnen lebten auch echte Samenpflanzen (Gymnospermen), die geologisch ältesten, die man kennt. Es sind die Farnsamer, lange fossile Farnwedel mit endständigen Samenanlagen. Sie wuchsen in großer Menge, waren von niedrigem, strauchartigem Wuchs.

Andere echte nacktsamige Pflanzen waren die baumförmigen Cordaiten, die im Perm ausstarben. Sie erreichten Höhen von mehr als 20 m und trugen eine Krone aus breiten, bandförmigen, parallelnervigen, bis 1 m langen Blättern. Ihr Stamm war – ähnlich den heutigen Buchen – glattrindig.



*Blattumrißformen und Aderungs-(Nervatur)typen fossiler Farne.*  
*a – Blattumrißtypen: 1 – sphenopteridisch, 2 – pecopteridisch, 3 – neuropteridisch; b – Aderungstypen: 4 – Fächeraderung, 5 – Fiederaderung, 6 – Maschen- oder Netzaderung (nach Gothan und Weyland)*

Den höchstentwickeltesten Pflanzentyp im Oberkarbon und im Perm stellten die Nadelbäume (Coniferen), erstmalig durch die nadeltragenden Walchien z. B. im Kupferschiefer vertreten. Sie gewannen aber erst später an Bedeutung.

Im Rotliegenden fällt auf, daß mitunter eine Sumpfflora (Pecopteriden-Calamiten-Assoziation) und eine trockenheitliebende Flora (Callipteriden-Walchien-Assoziation) an verschiedenen Standorten, wie z. B. im Thüringer Wald, nebeneinander zu finden sind.

Die permokarbone Flora entwickelte sich in zwei großen, klimatisch bedingten Florenreichen: dem der Nordhemisphäre (Europa, Nordamerika, Nordasien, Nordafrika) und dem des großen, einheitlichen Süd- oder Gondwanakontinents (Südamerika, Südafrika, Antarktis, Vorderindien und Australien). Auf dem von kühlerem Klima beeinflussten Südkontinent herrschte

die *Glossopteris*- bzw. *Gangamopteris*-Flora, die aus Farnlaubgewächsen und anderen Nacktsamern bestand. Diese Pflanzenwelt war kleinwüchsiger und weniger vielgestaltig als die Angara-Flora (Zentral- und Nordasien), die sogenannte euramerische Flora (Europa, Nordamerika) und die ostasiatische *Cathaysia*-Flora.

Mit dem Untergang der Steinkohlenwälder in den Mooregebieten setzte erstmalig in größerem Umfang der lang andauernde, komplizierte Prozeß der Umwandlung pflanzlicher Substanzen zu den heutigen Steinkohlen ein. Die in der Pflanzenmaterie gespeicherte Sonnenenergie wurde bei diesem Inkohlungsprozeß in einen anderen Energieträger verwandelt – in Kohle.

Gleichzeitig schloß damit auch ein großer Entwicklungsabschnitt in der Geschichte der Pflanzen ab, das Altertum der Pflanzenwelt (Paläophytikum).

Das warme und feuchte Klima des Karbons schuf in den ausgedehnten Urwäldern nicht nur für die Amphibien optimale Lebensbedingungen, die Insekten erlebten ebenso einen ersten Höhepunkt ihrer stammesgeschichtlichen Entwicklung. Sie gelten aber auch als Eroberer des Luftraumes. Über 1300 Arten waren es am Ende des Karbons, davon allein 170 Arten an Urinsekten, die im Perm wieder ausstarben.

Die ersten geflügelten Insekten (Pterygota) in Form der Urflügler mit ihren seitlich abstehenden, nicht faltbaren Flügeln erreichten Riesenformen, wie die Urlibelle *Meganeura* mit 0,75 m Flügelspannweite. Kleinwüchsige Vorfahren der heutigen Eintagsfliegen, Geradflügler, Schaben und Libellen wurden ebenfalls nachgewiesen. Allerdings besaßen diese Formen noch eine unvollkommene Metamorphose, d. h., das Puppenstadium wurde bei ihnen nicht entwickelt. Sie ernährten sich von Fleisch und Aas, Pflanzenfresser sind nicht bekannt. Weiteren Aufschwung nahmen ferner durch altertümliche Merkmale gekennzeichnete Spinnen sowie Tausendfüßer und Skorpione.

Die Mooregebiete stellten ein wahres Eldorado für die genannten Insekten dar. Die Karboninsekten waren der Beginn der weiteren Entwicklung zu den übrigen geflügelten Insekten modernen Typs.

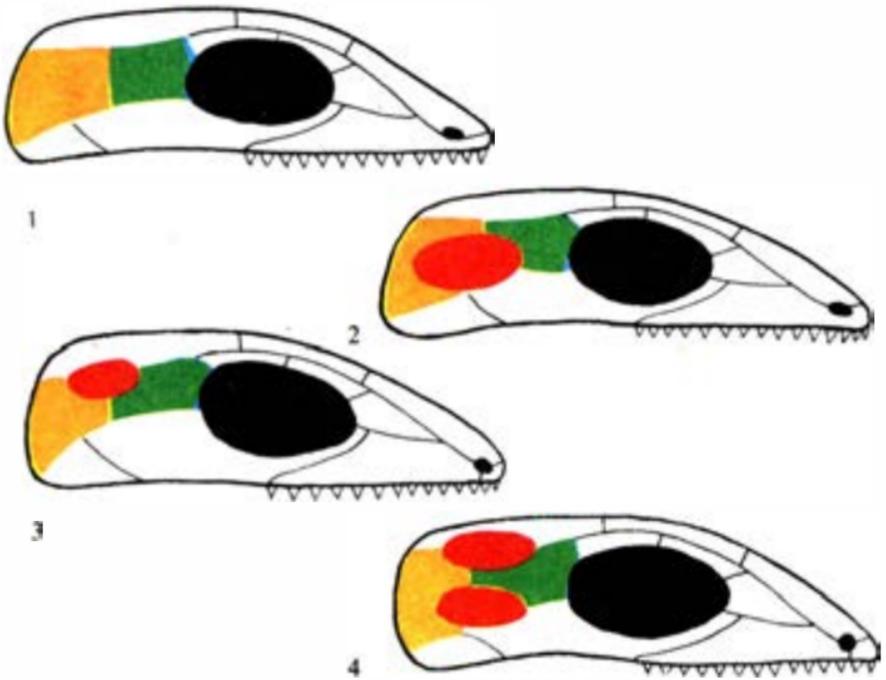
## Erdmittelalter – Riesen der Vorzeit

Die Trias (griech. = Dreiheit) – so genannt nach der Dreigliederung ihrer Schichten – leitete das Erdmittelalter (Mesozoikum) ein. In ihr traten zum erstenmal Säugetiere auf, Reptilien und andere Tiergruppen entfalteten sich stark. Der Wechsel vom feuchten, niederschlagsreichen Klima des Permokarbons zu teilweise trockenem Wüstenklima während der Trias und die damit verbundene Entstehung von Trockengebieten mußten eine weitere Anpassung der Pflanzen und Tiere ans Landleben nach sich ziehen. Ein grundlegender Wandel erfolgte in der Pflanzenwelt; eine neue Ära, das Mesophytikum, wurde eingeleitet.

Auch in den Triasmeeren begann mit dem Mesozoikum ein Faunenwandel. Aus den wenigen und seltenen Vertretern der Foraminiferen entwickelten sich während des Mesozoikums neue und reiche Faunen. Die Bödenkorallen und Rugosen starben aus, es verblieben nur die auch heute noch lebenden Scleractinien. Unter den Meeresbewohnern waren neben den als Leitfossilien hervortretenden Muscheln die Brachiopoden die häufigsten Fossilien. Die meisten paläozoischen Formen unter ihnen starben aus, dafür rückten die mit einem schleifenartigen Armgerüst versehenen Formen in den Vordergrund.

Die vorherrschende Tiergruppe unter den Weichtieren waren die Kopffüßer. Für das gesamte Erdmittelalter werden sie vor allem wegen ihrer vielfältigen Verzierungen und der kurzlebigen Arten zur biostratigraphischen Schichtengliederung herangezogen. Im Gegensatz zu den glattschaligen Altammoniten besaßen aber die jetzt dominierenden Formen ausgeprägte Rippen, Stacheln und Dornen. Unter den Seelilien fällt besonders die Gattung *Encrinus* auf, deren scheibenförmige Stielglieder, sogenannte Trochiten, mitunter gesteinsbildend im Trochitenkalk auftreten.

Die Reptilien erreichten im Mesozoikum ihre Blütezeit und übernahmen auch die Weltherrschaft. Ihre Geschichte begann schon im Oberkarbon, als Stammgruppe gelten die Anthracosaurier bzw. Cotylosaurier.



Die Typen der Reptilschädel nach der Lage der Schläfenöffnungen:  
 1 – anapsider Typ: kein Schläfenfenster, 2 – synapsider Typ: ein Schläfenfenster, 3 – euryapsider Typ: ein oberes Schläfenfenster, 4 – diapsider Typ: zwei (oberes und unteres) Schläfenfenster; rot: Schläfenöffnungen oder Schläfenfenster, grün: Postorbitale, Schädelknochen hinter der Augenöffnung, gelb: Schuppenbein (verändert nach Romer)

Erst die Reptilien konnten sich endgültig vom Leben im Wasser lösen, obwohl später einige von ihnen sekundär wieder zum Wasserleben zurückkehrten. Der Übergang zum Landleben beruht auf der Ausbildung eines Amnioten-Eies, eines dotterreichen Eies, das auf dem Land abgelegt wurde, durch Häute und eine Kalkschale geschützt war, so daß diese Vierfüßer nicht mehr zur Eiablage ins Wasser zurück mußten. Die Reptilien waren außerdem durch ihre feste Beschuppung vor Wasserverlust durch Ausdünstung gut geschützt.

Als Übergangsglied von den Amphibien zu den Reptilien galt lange Zeit *Seymouria*, ein etwa 0,5 m langer primitiver Vierfüßer. Er mußte inzwischen in dieser Stellung der Gattung *Gephyrostegus* weichen. Die wirklichen Ahnen

der Reptilien unter den Anthrakosauriern sind allerdings noch nicht aufgefunden.

Für die Einteilung der Reptilien hat das Vorhandensein oder das Fehlen von Schläfenfenstern und deren Lage am Schädel große Bedeutung. Die Schläfenfenster dienten dem besseren Ansatz der Kiefermuskulatur.

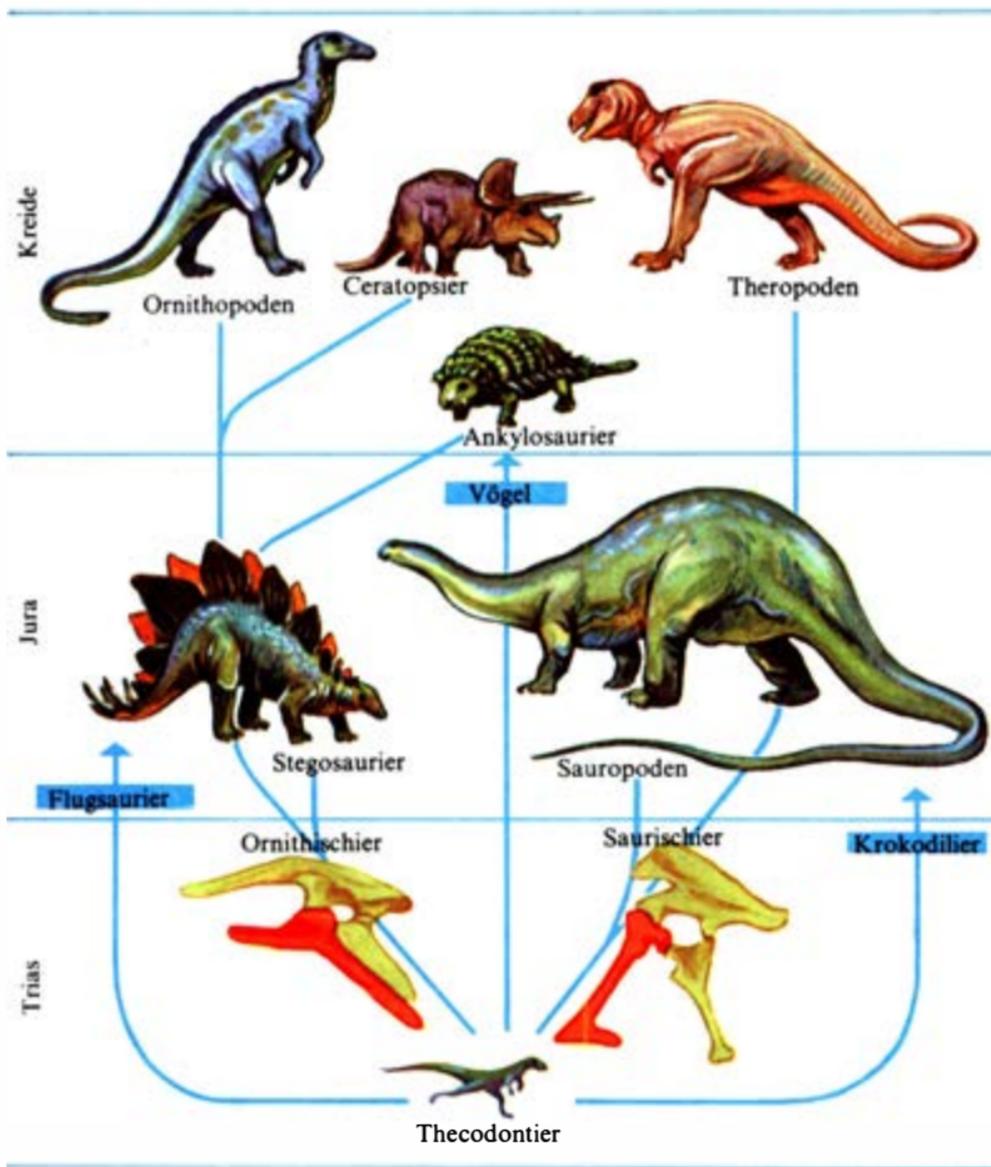
Der Schädel der frühen und primitiven Reptilien (Cotylosaurier = Stammreptilien) besaß zwar Augen- und Nasenöffnungen, im übrigen aber war die Schläfenregion geschlossen (anapsider Typ). Die heutigen Schildkröten gehören zu dieser Gruppe. Mit fortschreitender Entwicklung traten ein (synapsider Typ) oder zwei (diapsider Typ) Schläfenfenster hinter den Augenöffnungen auf. Von der ersten Gruppe stammen die Säugetiere, von der zweiten die Eidechsen und Vögel ab. Die Diapsiden entwickelten sich im Mesozoikum zu besonders großer Vielfalt. Sie stellten die riesigen Dinosaurier und die fliegenden Reptilien.

Ein vierter Schädeltyp, der euryapside, findet sich bei den Ichthyosauriern, Proterosauriern und Sauropterygiern (Nothosaurier, Plesiosaurier, Placodonten). Der Ursprung dieser zwei im Wasser lebenden Gruppen ist noch unbekannt; sie waren aber während des Erdmittelalters in ihrer Entwicklung ebenfalls sehr erfolgreich.

Betrachten wir die Welt der Riesenechsen mit ihren gewaltigen Vertretern einmal etwas eingehender. Die unterschiedlichen Lebensbereiche in den verschiedenen Verbreitungsgebieten führten zu mannigfaltigsten Anpassungsformen und Typen. Mit Recht tragen sie den Namen »Schrecksaurier« oder »Schreckechsen«.

Nach dem Bau des Beckens wurden die beiden Ordnungen Ornithischia mit einem vogelähnlichen und Saurischia mit einem reptilartig gebauten Becken unterschieden. Beide Gruppen bilden ein treffliches Beispiel für die Anpassung von Tieren mit gemeinsamen Vorfahren an unterschiedliche Lebensformen.

Erstmalig erschienen in der Trias die auf den Hinterbeinen schreitenden Dinosaurier, so der 2 bis 3 m hohe *Plateosaurus longiceps*, ein Ur-Riesendinosaurier aus dem Keuper von Halberstadt. Zu den amphibisch lebenden Formen des Muschelkalkmeeres gehörte der bis 3 m mes-



*Stammbaum der Dinosaurier. Es werden zwei Gruppen unterschieden: eine mit reptilartigem (Saurischier), die andere mit vogelartigem (Ornithischier) Becken. Rot = Schambein (Pubis), bei den Saurischiern nach vorn und abwärts gerichtet, bei den Ornithischiern verläuft es parallel zum Sitzbein (Ischium – gelb) (nach Colbert und Kuhn-Schnyder).*

sende *Nothosaurus* (= Bastardsaurier), der einen langen, geschwungenen Hals besaß und wegen seiner zu Paddeln umgebildeten Extremitäten ein guter Schwimmer war. Für das Leben in den seichten, wattenmeerartigen Gewässern war *Placodus*, der Pflasterzahnsaurier, spezialisiert. Langsam schwimmend, weidete er die untermeerischen Rasen von Muscheln, Brachiopoden und Seelilien ab und zerknackte mit seinen starken Kiefern, die mächtige Pflasterzähne trugen, die Schalentiere des Seebodens.

Einige der Echsen paßten sich im nachfolgenden Jura erneut dem Wasserleben an, z. B. die 4 bis 15 m langen Fischesaurier (Ichthyosaurier), wie *Stenopterygius*, und die Meereskrokodile, wie *Geosaurus* und *Teleosaurus*. Gleichzeitig mit den Fischesauriern lebten die Meeresschildkröten, z. B. die über 4 m lange *Archelon*. Bei diesen meeresbewohnenden Reptilien waren die Gliedmaßen zu Flossen umgestaltet, die als Ruder dienten. Es wurden Schwanz- und Rückenflossen entwickelt. Die torpedoartige Körpergestalt machte sie zu vorzüglichen Schwimmern. Die Fossilagerstätten des liassischen Posidonien-schiefers bei Boll und Holzmaden (Württemberg, BRD) lieferten hervorragend erhaltenes und weltberühmt gewordenes Fundmaterial (mehrfach noch mit Haut, Embryonen). Sehr verbreitete jurassische Meeressaurier, die bis ans Ende der Kreide auftraten, waren die langhalsigen Plesiosaurier (Schwanendrache) und *Thaumatosauros* (Wunderechse, Keuperfund von Halberstadt).

Einen erstaunlichen Aufstieg und den Höhepunkt ihrer Entfaltung erlebten die Großkriechtiere des Festlandes während des Juras und der Kreide.

Neben gewaltigen pflanzenfressenden Kolossen, die die zahlreichen Sümpfe und Moraste der Niederungen, aber auch die trockenen, z. T. wüstenartigen Gebiete bevölkerten, kamen auch kleine und große fleischfressende Formen vor.

Das Mißverhältnis der sehr geringen Gehirnmasse in dem relativ kleinen Schädel zu der übrigen riesigen Körpermasse von z. T. etwa 80 Tonnen war typisch für diese Tiere.

Vier Entwicklungsrichtungen sind bei den Ornithischiern (Vogelfußdinosaurier) erkennbar: Entenschnabeldinosaurier

rier oder Vogelfußdinosaurier (Ornithopoden), Stachelndinosaurier (Stegosaurier), Panzerdinosaurier (Ancylosaurier) und gehörnte oder Horndinosaurier (Ceratopsida).

Die Entenschnabeldinosaurier wurden durch den 10 m langen *Trachodon* und den 5 m hohen und 10 m langen *Iguanodon* mit dolchartigem Daumen an den Vorderextremitäten vertreten. Bekanntester und typischster Stachelndinosaurier war der 4 bis 9 m lange, vierfüßige *Stegosaurus*. Sein gewölbter Rücken wurde durch eine Doppelreihe mächtiger, aufrechtstehender spitzer Panzerplatten geschützt. Am Schwanz, der vermutlich als Verteidigungswaffe diente, saßen zwei Paar spitze, lange Knochenstacheln. Ein Vertreter der Panzerdinosaurier ist der 5 m lange *Scolosaurus* mit einem Panzer aus Knochenplatten, die mit Stacheln versehen waren. Stacheln an Hals und Schwanz schützten diese Körperteile besonders gut gegen Angriffe der Gegner. Die Schädel der Ceratopsiden waren mit Hörnern und mächtigen Nackenschilden bewehrt, z. B. *Triceratops* (6 m lang, 2,6 m hoch, 3 Hörner). *Monoclonius* hatte ein einziges langes Nasenhorn, und *Styracosaurus* bot der in lange, scharfe Hörner ausgeschlitzte Nackenschild guten Schutz.

Die Saurischier (Echsendinosaurier) mit den Sauropoden (Riesendinosaurier) und den Theropoden (Raubtierfußdinosaurier) brachten wohl die größten Formen hervor.

Riesige langhalsige, halbaquatile Tiere, wie *Brachiosaurus*, *Atlantosaurus* (*Brontosaurus*) und *Diplodocus*, gehören zu den Riesendinosauriern. *Brachiosaurus* besaß säulenförmige Beine und ragte nur zur Atmung mit dem Kopf aus dem Wasser. Er war 24 m lang, etwa 12 m hoch und wog bis zu 80 Tonnen. *Diplodocus*, ein schlanker

*Ähnlichkeit der Körperumrisse (Konvergenz) bei verschiedener systematischer Zugehörigkeit am Beispiel der »Torpedoform« bei Wassertieren: 1 – Cladoselache, primitiver Hai aus dem Devon (Knorpelfisch); 2 – Cheirolepis, Knochenfisch des Devons; 3 – Ichthyosaurus, Fische der Juras, marines Reptil; 4 – Großer Tümmler, marines Säugetier (verändert nach Colbert und Eigener)*

1



2



3



4



Sauropode, erreichte die bemerkenswerte Länge von 25 m. Bedeutende dieser Funde, die heute im Museum für Naturkunde an der Humboldt-Universität zu Berlin ausgestellt sind, stammen aus der berühmten oberjuras-sischen Fundstätte von Tendaguru (Tansania).

Schließlich sollen noch die Hohlknochendinosaurier (Coelurosaurier) und die Raubdinosaurier (Carnosaurier) genannt werden. Sie waren ausschließlich Raubtiere. Von den Coeluriden lieferte der Solnhofener Schiefer erste bedeutende Funde, z. B. den etwa katzen-großen *Compsognathus*. Ihre »Hände« waren meist zu dreifingerigen Greiforganen umgebildet; der vierte und der fünfte Finger fehlten oder waren rückgebildet.

Die Blütezeit der Carnosaurier liegt in der Oberkreide. *Tyrannosaurus* war der gewaltigste landlebende Fleischfresser, der bisher bekannt ist. Er wurde über 15 m lang, allein der Schädel etwa 1,4 m.

Am Ende der Kreide starben die Riesenechsen aus – bis heute weiß man nicht weshalb. Es gibt viele Theorien über die Ursache dieser tief einschneidenden Veränderungen, sichere Beweise sind jedoch bisher nicht erbracht worden. So hat man daran gedacht, daß die Saurier einer weltweiten Epidemie zum Opfer gefallen sein könnten. Es ist aber nicht einzusehen, warum nicht wenigstens einige Tiere davon verschont geblieben sein sollten und die Art retteten. Noch weniger ist zu verstehen, daß die im Wasser lebenden Ammoniten und Belemniten das gleiche Schicksal getroffen haben soll. Man hat auch gemeint, daß die rasche Ausbreitung der Bedecktsamer und die sich damit verändernden Nahrungsquellen von einschneidender Bedeutung gewesen wären. Wie konnte das aber die marinen Lebewesen beeinflussen? Man hat an Veränderungen der Umweltbedingungen durch Gebirgsbildungen, Klimawechsel und anderes gedacht. In neuerer Zeit wird Überlegungen, daß kosmische Einflüsse eine wesentliche Rolle gespielt haben könnten, ein gewisser Vorzug gegeben. Änderungen der Intensität der UV-Strahlung, Umkehrungen und damit ein zeitweiliger Ausfall des Magnetfeldes der Erde, das einen Schutz gegen Korpuskularstrahlung der Sonne bietet, oder auch der Ausbruch einer Supernova und damit

verbundene schädliche Strahlenwirkungen werden in Betracht gezogen. Mißbildungen und mutative Entartungserscheinungen in den Knochen der Saurier könnten durchaus auf solche Einflüsse hinweisen. Die wahrscheinlichste Theorie besagt, daß in Verbindung mit Gebirgsbildungen und Meeresüberflutungen damals ein Zerfall der Kontinente (Kontinentaldrift) einsetzte und Klimaänderungen eintraten. Subtropisches Klima wich einem kühleren Klima mit jahreszeitlichem Wechsel. Diesen tiefgreifenden Wandel des damaligen Erdbildes konnten so hochspezialisierte Tiere, deren Fortpflanzung von ganz besonderen Bedingungen abhängig war, nicht überstehen.

Jura und Kreide sind die fossilreichsten und bestbekanntesten Zeitabschnitte der Erdgeschichte auch für die Wirbellosenfaunen. Ammonoiten und Belemniten spielten neben den Weichtieren, Schwämmen und Korallen eine wichtige Rolle.

Aus wenigen überlebenden Gattungen der Foraminiferen entwickelten sich vorwiegend kalkschalige Formen, doch ebenso aus Sandkörnern aufgebaute Arten erreichten allmählich eine große Mannigfaltigkeit. Die Schwämme beteiligten sich mit großem Formenreichtum vor allem am Aufbau gewaltiger Riffe, in denen auch Korallen und Moostierchen massenhaft vorkommen.

Die gut erhaltenen Weichtierreste der Jurazeit lieferten zahlreiche Leitfossilien. Unter den Muscheln fallen besonders die Kammuscheln (Pectiniden) und die den heutigen Austern verwandten Exogyren und Gryphaea durch ihre Häufigkeit und die stark verzierten, spitzkonischen und dickschaligen Formen auf.

Eine erneute Blütezeit war bei den Ammoniten zu beobachten, sie stellen zahlreiche Leitfossilien. Bei den Stachelhäutern (Echinodermen) vollzog sich ein schrittweiser Übergang von den regulären, gebißtragenden Seeigeln, die den felsigen Boden bevorzugten, zu den an Schlammgründe gebundenen irregulären, gebißlosen Arten, die als Sedimentfresser gelten. Seelilien (Crinoiden) traten gesteinsbildend auf, an fossiles Treibholz angeheftete prachtvolle Exemplare sind aus dem Posidonienschiefer des Lias bekannt.

Aus biologischer Sicht bedeutete die Kreide das Ende des Mesozoikums. Eine Vielzahl von Organismen starb aus, z. B. Rudisten, Inoceramen, Ammoniten, Belemniten.

So schloß das Mesozoikum mit einem bedeutenden Entwicklungswandel der Faunen ab, und das Zeitalter der Säugetiere kündigte sich an.

## Reptilien erobern den Luftraum

Fliegen stellt höchste Anforderungen und Voraussetzungen an den Tierkörper. Als erstes muß ein fliegendes Tier die Schwerkraft überwinden. Den Insekten fiel das nicht schwer – sie hatten ja bereits im Karbon den Luftraum erobert –, doch für die Wirbeltiere war es das Hauptproblem. Das fliegende Wirbeltier muß leicht gebaut sein, viele seiner Knochen sind hohl und mit Luft gefüllt. Zusätzliche, mit der Lunge verbundene Luftsäcke dienen als Luftspeicher. Das Flugtier besitzt zu Flügeln umgewandelte Vordergliedmaßen, ein kräftiges Rückgrat als Träger des Flugmechanismus, und die hinteren Gliedmaßen sind als Landevorrichtungen ausgebildet. Auch die Sinnesorgane, Groß- und Kleinhirn, müssen gut entwickelt sein, um Bewegung, Sehen und Hören entsprechend zu steuern. Hinzu kommt bei den Vögeln die Ausbildung von Federn. Das Gefieder ist nicht nur für das Flugvermögen wichtig, es bildet als schlechter Leiter auch einen wirksamen Wärmeschutz.

Kleine, baumbewohnende Thecodontier dürften die Ahnen der Flugsaurier (Pterosaurier) sein. Die Flugsaurier oder Flugdrachen paßten sich zu Beginn des Juras an das Fliegen an. Sie entwickelten sich zu beachtlicher Vielfalt, einige überdauerten die Kreidezeit und starben dann aus. Drei Gattungen sind es, die aus den Juraschichten von Solnhofen (BRD) (*Pterodactylus*, *Rhamphorhynchus*) und den Kreideschichten Nordamerikas (*Pteranodon*) geborgen wurden.

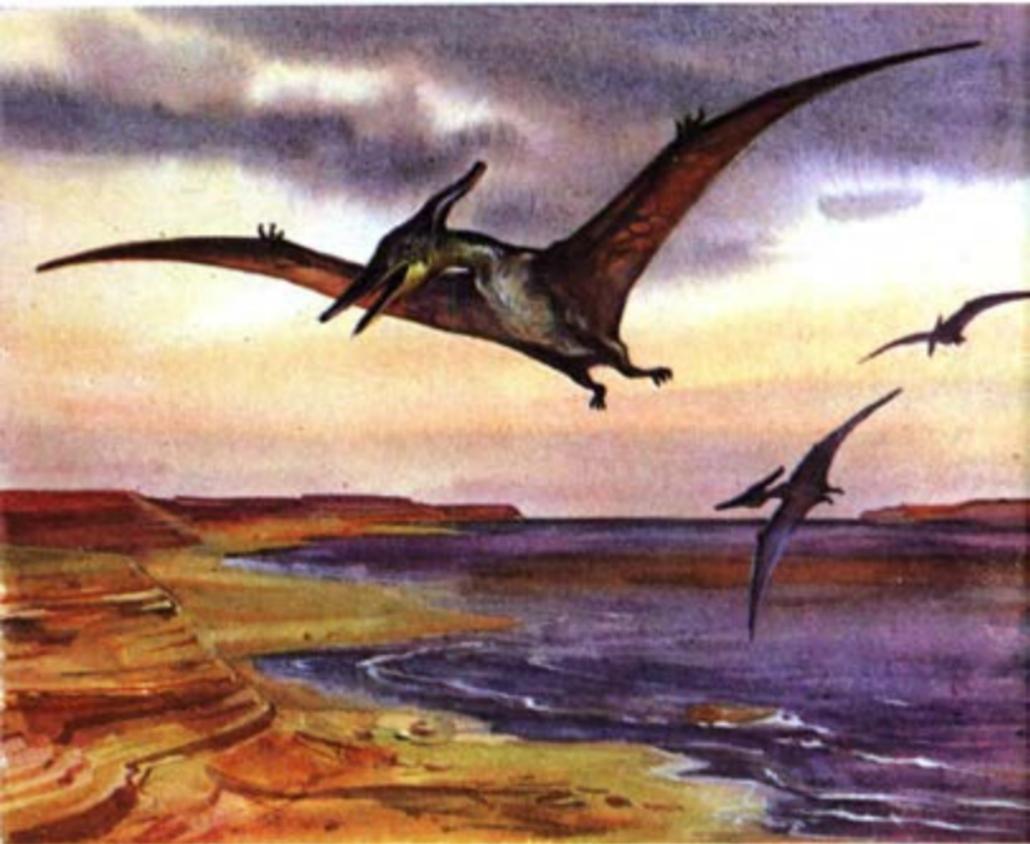
Der bekannteste, häufigste und jüngste Flugsaurier des Juras ist *Rhamphorhynchus*. Er besaß einen langen Schwanz mit einem Hautlappen, der als »Steuer« diente.

Die Flügel waren lang und schmal, der Schädel langgezogen und mit bezahnten Kiefern. Als Nahrung dienten ihm Fische, die er, dicht über der Wasserfläche dahingleitend, erjagte.

*Pterodactylus* dagegen hatte nur einen kurzen Schwanz, breite Flügel und einen nach vorn schmaler werdenden Kopf mit nur wenigen Zähnen. Er bewegte sich im Flatterflug und ruhte an Ästen oder Felsen aus, ähnlich den heutigen Fledermäusen. Die sperlings- bis habichtsgroßen Tiere lebten in Schwärmen an den Ufern und Lagunen des Jurameeres und ernährten sich von Fischen und Insekten.

Den Höhepunkt in der Entwicklung der Flugsaurier

*Der riesige Flugsaurier Pteranodon, ein Segelflieger, über dem Oberkreidemeer (Niobrara) von Kansas in Nordamerika (verändert nach Špinar und Burian)*



bildete *Pteranodon* mit mehr als 10m Spannweite. Er besaß einen großen Schädel, der nach hinten in einen langen Knochenkamm auslief. Das lange spitze Maul war zahnlos, dem Fang von Fischen und Weichtieren im offenen Meer angepaßt. *Pteranodon* war vermutlich ein passiver Flieger, der im Gleitflug dahinschwebte.

Die Flugechsen sind nicht – wie oft angenommen wird – die Ahnen der Vögel, sondern eine ganz besondere, selbständige Kriechtiergruppe.

Wieder ist es ein mit mosaikartigen Merkmalen behaftetes Lebewesen, das in der Entwicklungsgeschichte der Tierwelt zwischen den Reptilien und echten Vögeln vermittelt.

Als erster etwa taubengroßer echter Vogel und primitiver aktiver Flieger trat der weltberühmte »Urvogel« *Archaeopteryx* aus den Lithographenschiefern des Malms von Solnhofen (BRD) als Beherrscher der Luft auf. Er wurde bisher in sechs Exemplaren – 1860 (Abdruck einer Feder), 1861 (Londoner Exemplar), 1877 (Berliner Exemplar), 1956 (Erlangener Exemplar), 1857 (bzw. 1971) und 1951 (bzw. 1973) – gefunden. Zahlreiche seiner Körpermerkmale trugen noch Reptilcharakter, z. B. die lange, eidechsenartige Schwanzwirbelsäule, seine drei freien Krallen an der Hand, bezahnte Kiefer und der aus Knochenplatten bestehende Schutzring über den Augen. Doch wegen des Besitzes von Federn und einer geschlossenen Schädelkapsel ist er zu den Vögeln zu stellen.

Die reptilartigen Merkmale des *Archaeopteryx* weisen auf eine stammesgeschichtliche Abkunft von den Coelurosauriern (Saurischia) hin, von denen sich auch die Flugsaurier ableiten.

Wie lebten die Urvögel? Die feinen Zähnnchen deuten auf Pflanzenkost sowie kleinere Insekten und Würmer hin. Sie hielten sich in den Araukarien- oder Zykashainen in der Nähe der Lagunen des Jurameeres auf. Wegen ihrer freien krallentragenden »Finger« an den Vordergliedmaßen waren sie gute Kletterer. Das Fliegen des Urvogels glich jedoch mehr einem Herumflattern, im Gleitflug konnte er von Baum zu Baum schweben. Sein Flug war wellenförmig und von Gleitphasen unterbrochen.



*Die Lagunenlandschaft des Oberjuras (Malm) bei Eichstätt und Solnhofen (BRD) mit der Langschwanz-Flugechse Rhamphorhynchus (verändert nach Špinar und Burian)*

In der Kreidezeit machten die Vögel große Entwicklungsschritte, die zu den modernen Vögeln hinführten. Die Vogelwelt der Kreide ist durch bezahnte Formen, wie *Hesperornis* oder *Ichthyornis*, gekennzeichnet. Die bestbekanntesten Funde stammen ebenfalls aus dem Niobrara-Kalk von Kansas (USA). Die Hesperornisse waren etwa 1 m lange Wasservögel und gute Schwimmer und Taucher. Sie besaßen kräftige, zum Schwimmen gut geeignete Hintergliedmaßen, waren flugunfähig und auf dem Festland unbeholfen. Sie konnten nur in kleinen Sprüngen schwerfällig und langsam hüpfen.

Die taubengroßen Ichthyornisse dagegen waren gute

Flieger. Sie lebten in Schwärmen auf Klippen an den Küsten des Kreidemeeres, ihre Hauptnahrung waren Fische.

Mit Beginn der Erdneuzeit hatten die Vögel ihren heutigen Entwicklungsstand im Skelettbau erreicht. Unter ihnen fällt jedoch eine Gruppe besonders auf, die Ratiten oder flugunfähigen Laufvögel. Da sie in ihrem Lebensbereich keine Feinde hatten, brauchten sie das Fliegen als Fluchtmöglichkeit nicht mehr. Viele der Ratiten waren grasende Pflanzenfresser, zwei Gruppen müssen Fleischfresser gewesen sein, denn sie besaßen große Schädel mit kräftigen Schnäbeln. Hierzu gehörte der 2 m hohe, schwere Riesen-

*Der flugunfähige, zwei Meter hohe Laufvogel Diatryma, ein Bewohner dichter Buschwälder und offenen Geländes von Trockenwaldgebieten, lebte vor etwa 50 Millionen Jahren während des Eozäns auch im Geiseltal bei Halle/Merseburg (verändert nach Špinar und Burian).*



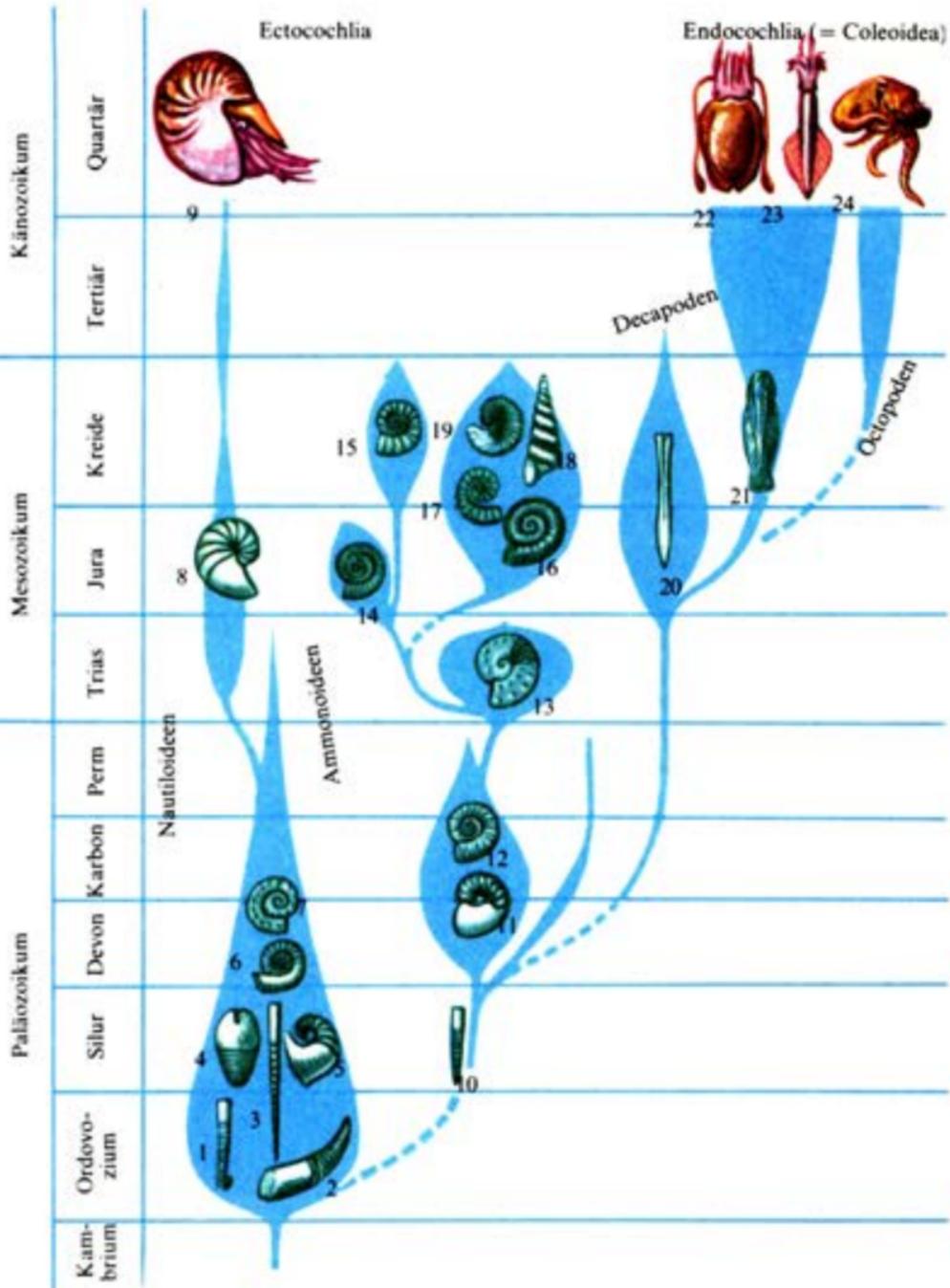
laufvogel *Diatryma*. Er lebte wahrscheinlich von terrestrischer Nahrung auch in den Waldgebieten des braunkohlenzeitlichen Geiseltales bei Halle. Er war in seiner Lebensweise dem australischen Kasuar, in seinem Laufvermögen und seiner Ernährung der südamerikanischen *Cariama* ähnlich.

## Die Blütezeiten der Kopffüßer

Die Kopffüßer (Cephalopoden) gehörten neben den Insekten zu den höchstentwickelten und fortschrittlichsten Entwicklungslinien der Wirbellosen. Nur wenige Gruppen von Meeresbewohnern erschienen jemals mit so vielen Arten und einer so großen Verbreitung wie diese wertvollen Leitfossilien. Schon lange sind Kopffüßer bei Laien unter den Namen »Schlangensteine«, »Ammoniten« oder »Ammonshörner« bekannt. Sie werden aber auch als »Goldschnecken« oder »Drachensteine« bezeichnet – je nach der Art ihrer Gehäuse oder dem Erhaltungszustand.

Die Kopffüßer gehören zu den Weichtieren (Mollusken). Nach der Anzahl ihrer Kiemen unterscheidet man zwei große Unterklassen: die Vierkiemer (Tetrabranchiata) und die Zweikiemer (Dibranchiata). Zu den Zweikiemern gehören die Cephalopoden mit innerem Gehäuse, wie die in der geologischen Gegenwart lebenden echten Tintenfische und die ausgestorbenen Belemniten oder »Donnerkeile« bzw. »Fingersteine«. Die Vierkiemer umfassen die Ordnung der Nautiliden oder »Schiffs-« bzw. »Perlboote« und die ausgestorbene Ordnung der Ammoniten oder »Ammonshörner«. Beide werden als Cephalopoden mit äußerem Gehäuse zusammengefaßt.

Die Nautiloideen sind Kopffüßer mit gestrecktem – z. B. *Michelinoceras* oder »*Orthoceras*« (Geradhorn), *Endoceras* – bis spiralgig eingerolltem Gehäuse – z. B. *Lituites*, der »Bischofsstab« –, die durch einfache, meist nach vorn gewölbte Trennwände in Kammern aufgeteilt sind. Als erster Vertreter im Kambrium wird *Volborthella* angesehen. Im Ordovizium und im Silur entwickelten sich eine große Zahl verschiedener Baupläne, die auf der



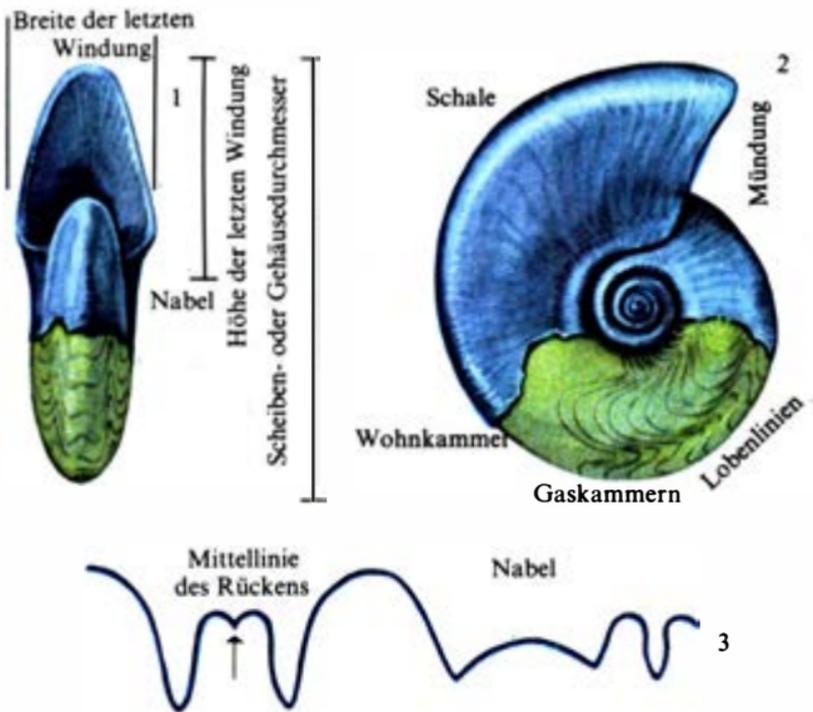
Die stammesgeschichtliche Entwicklung der Kopffüßer (nach Thenius) 1 – Lituites, 2 – Augustoceras, 3 – »Orthoceras«, 4 – Gomphoceras, 5 – Phragmoceras, 6 – Ophidioceras, 7 – Hercoceras, 8 – Eutrephoceras, 9 – Nautilus, 10 – Bactrites, 11 – Manticoceras, 12 – Gattendorfia, 13 – Ceratites, 14 – Arietites, 15 – Acanthoceras, 16 – Stephanoceras, 17 – Crioceras, 18 – Turritites, 19 – Scaphites, 20 – Hibolites, 21 – Leptoteuthis, 22 – Sepia, 23 – Loligo, 24 – Octopus

unterschiedlichen Lage des Hautschlauches (Sipho), z. B. zentral- oder außenständig, beruhen. Ab Devon bis in die Trias erhielten sich nur noch eingerollte Formen. Die Nautiliden waren in ihrer Entwicklung sehr konservativ und erreichten keine so große Formenfülle wie die Ammoniten. Sie starben am Ende des Erdmittelalters aus. Nur die Gattung *Nautilus*, das »Perlboot«, lebt noch heute. Zwar ist er erst aus dem Tertiär nachgewiesen, doch existiert sein Bauplan, fossil belegt, bereits seit dem Perm.

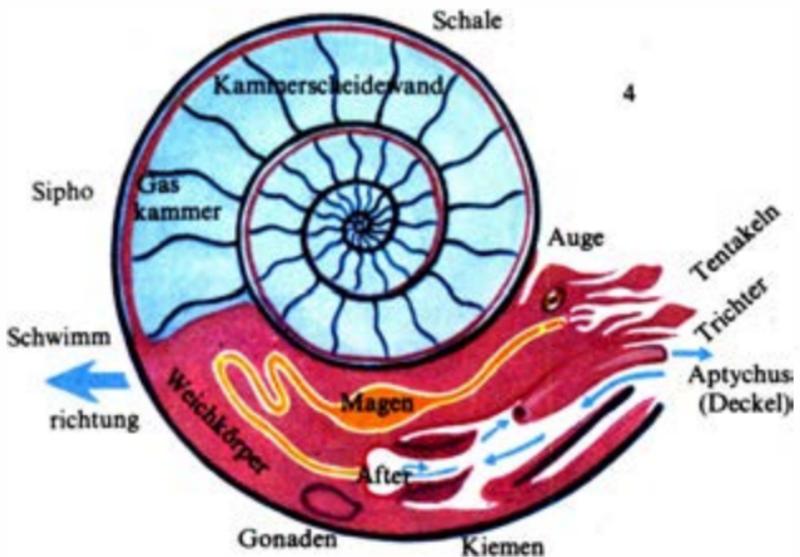
Die Ammoniten, nach der Art der Einrollung und ihrem geologischen Alter in Alt-(Paläo-), Mittel-(Meso-) und Jung-(Neo-)ammoniten aufgeteilt, sind stets planspiral, d. h. in einer Ebene aufgerollt. Sie lassen sich von gestreckten Formen des Silurs ableiten, und diese lassen sich wieder auf primitive Nautiloideen zurückführen. Bei der weiteren Entwicklung ist dann die Ausbildung der Lobenlinie bemerkenswert. Als Lobenlinie bezeichnet man die Verwachsungslinie bzw. die Ansatzstelle der Kammerscheidewände an der Außenwand des Gehäuses. Im Laufe der stammesgeschichtlichen Entwicklung bildete sich zunächst bei den Altammoniten eine einfach gewölbte, wellige Lobenlinie während des Devons bis zum Karbon aus. Aus ihr entwickelte sich eine bereits einseitig ausgezackte Lobenlinie bei den Mittelammoniten im Perm und vor allem in der Trias. Die Jungammoniten ab Trias bis Kreide haben eine ammonitische Lobenlinie mit sehr kompliziertem Aufbau, Zähnelung und Kerbung. Sekundär kann auch wieder ein Abbau der Lobenlinien zu einfachen Formen erfolgen, z. B. bei den Kreideammoniten.

Eine ähnliche Tendenz ist bei der Ausbildung der Schalenskulpturen zu beobachten. Im Gegensatz zu den glattschaligen Altammoniten herrschten bei den Mittel- und Jungammoniten stark skulpturierte Formen mit Rippen, Stacheln und Dornen vor. Diese Rippen erfuhren eine deutliche Differenzierung während des Juras – so erfolgte von den Einfachrippern im Lias eine Ausbildung zu Gabelrippern im Dogger und Spaltrippern im Malm. Sekundäre Rückbildungen traten auch hier wieder auf, sogenannte Abbauripper.

Ein markanter Entwicklungsschnitt lag bei den Ammo-



Pfeilspitze zeigt zur Mündung



*Morphologischer Bau eines Ammoniten und Elemente der Lobelinie: 1 – Rückenansicht, 2 – Ammonitengehäuse mit aufgebrochener Schale (Seitenansicht) und sichtbaren Lobelinien, 3 – abgerollte Lobelinie mit Sätteln (vorderer und hinterer Lateral-sattel, Umbilicalsattel) und Loben (Ventral-, Dorsal- und Laterallobus), 4 – Medianschnitt (verändert nach Moore und Trauth)*

niten an der Wende der Trias zum Jura. Außer den Phylloceratiten und Lytoceratiten starben sämtliche Ammoniten aus. Diese Gruppen bildeten die Stammformen für die ungeheuerere Artenfülle der Jura- und Kreideammoniten. Zu diesem Zeitpunkt traten auch Nebenformen mit abweichender Gehäusegestalt und Riesenformen auf. Die Gehäuse waren z. T. unvollständig spiralig eingerollt, wie bei *Crioceras*, oder unregelmäßig schneckenartig bis turmförmig aufgerollt, wie bei *Turrilites*, und teilweise gestreckt, wie bei *Scaphites*. Am Ende der Kreide starben sie völlig aus. Eine weltweite Klimaverschlechterung, aber auch außerirdische Einwirkungen dürften die Ursache gewesen sein.

Im Jura und in der Kreide trat die Gruppe der Endocochlia auf, speziell durch die zigarren- bis kegelartigen Belemniten – die Ahnen der heutigen Tintenfische – vertreten. Es sind verhältnismäßig häufige Fossilien. Ihre zylindrischen Rostren (dornförmige Hartteile) dienen ebenfalls örtlich als Leitfossilien.

Die Kopffüßer sind eine morphologisch hochentwickelte Tiergruppe. Sie schwammen freibeweglich, besaßen Sinnesorgane und ein kompliziertes Nervensystem.

Einen Einblick in die Organisation und die Lebensweise der ausgestorbenen Kopffüßer vermitteln am besten ein Querschnitt durch den heute lebenden *Nautilus* und die Ansicht eines fossilen Ammonitengehäuses, an denen die einzelnen Bauelemente erkennbar sind. Das Kopffüßergehäuse ist durch zahlreiche kalkige Kammerscheidewände in eine Reihe gasgefüllter Kammern gegliedert. Sie stehen durch den Siphon miteinander in Verbindung. Das Tier sitzt im ungekammerten Teil, der Wohnkammer. Die Gehäusemündung wird bei manchen Formen durch kalkige oder hornige einteilige (Aptychen) oder zweiteilige (Anaptychen) Deckel verschlossen.

---

# Die Evolution auf dem Lande

---

## Erdmittelalter und Erdneuzeit im Pflanzenreich

Der Wechsel an der Grenze vom Rotliegenden zum Zechstein, vom warm-feuchten in ein trockeneres, arides Klima, drückt sich in den nun folgenden Florengemeinschaften aus. Vom Oberperm bis zur Unterkreide dauerte das Erdmittelalter der Pflanzen (Mesophytikum oder Nacktsamerzeit), das dann vom Känophytikum (Bedecktsamerzeit), der Erdneuzeit des Pflanzenreichs, abgelöst wurde. Die Entwicklung der Pflanzenwelt läuft also derjenigen der Tierwelt stets voraus, da neue Pflanzengruppen vermutlich neuen Tiergruppen als Nahrung dienen. Mit dem Erlöschen von Pflanzensippen wurden dann deren Verbraucher verdrängt – sie starben aus.

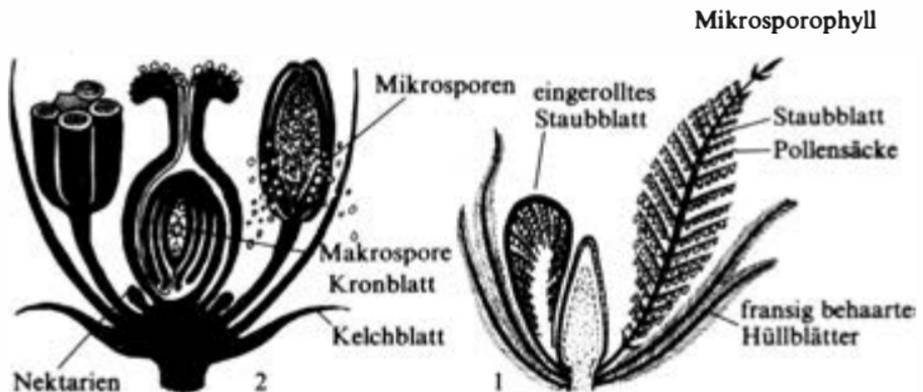
Im Mesophytikum überwogen die Nacktsamer (Gymnospermen); die im Karbon dominierenden Steinkohlepflanzen waren so gut wie ausgestorben. An ihre Stelle traten nun die sich von den Farnen ableitenden Farnsamer, Palmfarne und Bennettiteen, während für die Cordaiten, die Ginkgogewächse und die Nadelhölzer (Coniferen) der phylogenetische Ausgangspunkt bei den Bärlappgewächsen liegt.

Die Vegetation des Zechsteins am Beginn des Mesophytikums setzte sich hauptsächlich aus Nadelbäumen (Ullmannien und Voltzien) zusammen. Auch die ersten Ginkgogewächse erschienen, die sich zu einem bezeichnenden Glied der mesophytischen Flora entwickelten. Eine weitere, weltweit verbreitete Nacktsamergruppe sind die Zykasgewächse, die Cycadeen oder Palmfarne.

Sie haben gefiederte Wedel und kugel- bis faßförmige, aber auch baumartige Stämme. Noch heute gibt es in den Tropen und Subtropen einige Vertreter dieser Palmfarne, die mit den mesozoischen Formen verwandt sind. Besonders sind die Bennettiteen zu erwähnen, ein in der Kreidezeit ausgestorbener Seitenzweig der Cycadeen, die das Herannahen der Bedecktsamer ankündigen. Mit vermutlich von Insekten bestäubten Zwitterblüten und durch Samenbildung versuchten sie, sich der sich wandelnden Umwelt anzupassen. Sie erreichten jedoch nicht die Entwicklungshöhe der späteren Bedecktsamer und werden deshalb mitunter auch als »Halbbedecktsamer« bezeichnet.

Die höchstentwickelte und jüngste Abteilung des Pflanzenreiches, das Neophytikum oder Känophytikum, reicht von der Unterkreide bis in die Gegenwart. Es ist die Angiospermen- oder Bedecktsamerzeit, in der die Blütenpflanzen dominieren. Sie beherrschten ab Oberkreide das Pflanzenbild der Erde und entfalteten sich fast explosionsartig. Ihr plötzliches Auftreten in den fossilen Dokumenten und das Überflügeln aller bisherigen Pflanzengruppen werden damit erklärt, daß die ältesten Formen schon während der Trias in den Gebirgen

*Schemata einer Cycadeenblüte (Bennettiteen, Nacktsamer) und einer Angiospermen- (Bedecktsamer-)blüte. 1 – Bennettiteenblüte als Beispiel für Anpassung an die Umwelt durch Ausbildung angiospermenähnlicher Blüten, 2 – Angiospermenblüte (nach Gothan, Weyland und Wieland)*



entstanden sind. Erst von der Kreide an wanderten sie dann in die Tiefländer und damit in die Sedimentationsräume hinab. Ihre stammesgeschichtliche Entwicklung stellt uns vor schwierige und bis heute noch nicht endgültig geklärte Fragen.

Die Bedecktsamer gliedern sich in Einkeimblättrler und Zweikeimblättrler. Beide Gruppen treten schon nebeneinander in den ältesten angiospermenführenden Schichten auf. Ob sich beide gleichzeitig entwickelten, oder welche Gruppe eher entstand, ist noch unbekannt. Zu den ältesten Angiospermen gehören die Kätzchen-träger, wie Pappeln und Eichen, sowie die Vielfrüchtler, wie Magnolien und Hahnenfußgewächse. Die höchstentwickelten Bedecktsamer sind die in der Oberkreide auftretenden Verwachsenkronblättrigen (Sympetalen).

Die Bedecktsamer besitzen Blüten und netzadrige Blätter. Samenanlagen und Samen sind im Fruchtknoten eingeschlossen, der sich später zur Frucht umbildet. Bei den Bedecktsamern findet eine doppelte Befruchtung statt.

Sowohl Nacktsamer als auch Bedecktsamer repräsentieren keine stammesgeschichtlichen Einheiten, sondern sind Gruppen gleicher Entwicklungs- bzw. Organisationshöhe.

## Siegeszug der Säugetiere

Die Wende Kreide/Tertiär wird besonders bei den Wirbeltieren durch einen wichtigen Faunenschnitt markiert, aber auch bei den Wirbellosen sind Höhepunkte in der Entwicklung mancher Tiergruppen, wie der Großforaminiferen, Schnecken und Muscheln, zu verzeichnen.

Zur herrschenden Tiergruppe wurden die Säugetiere, sie begannen nun ihren Siegeszug, obwohl sie schon seit der Obertrias nachweisbar sind und ihre Entfaltung bereits im Mesozoikum einsetzte. Die lange Verzögerung ihrer Blütezeit über mehr als 100 Millionen Jahre hinweg ist ein Beispiel für die sehr unterschiedliche Geschwindigkeit der Evolution der Organismen.

Über die Herkunft der Säugetiere sind wir gut orientiert. Durch allmählichen Formenwandel ist ihre Ableitung

von den Reptilien heute gesichert, und die Abgrenzung zwischen Reptilien und Säugetieren ist mehr oder weniger künstlich. Konventionell wird die Grenze nach der Entwicklung des Unterkiefergelenk-/Gehörknöchelapparates gezogen.

Die Stammgruppe der Säugetiere innerhalb der Reptilien sind die Therapsiden. Sie sind gleichzeitig die geologisch ältesten Säugetiere. Unter ihnen lassen sich mehrere Stammlinien beobachten; einige waren in gewissen Merkmalen sehr weit fortgeschritten, blieben aber in anderer Hinsicht vergleichsweise primitiv, so daß mehrere Gruppen säugetierähnlicher Reptilien zu den Ahnen der frühen Säugetiere gehören.

Noch vor dem Untergang der Therapsiden entwickelten sich in der Obertrias aus ihnen die ersten Säuger, die sich bald weltweit verbreiteten. Zunächst waren es unscheinbare, etwa rattengroße Kleinraubtiere mit einem maximalen Körpergewicht von 2000 Gramm, z. B. *Triconodonten*, *Symmetrodonten*, die *Pantotheria* und die *Multi-tuberculaten*. Insekten und andere wirbellose Tiere bildeten ihre Nahrung.

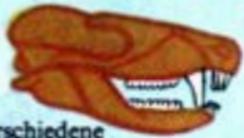
Erste pflanzenfressende Säugetiere waren die *Multi-tuberculaten*, z. B. die jurassische Gattung *Plagiaulax*. Diese Säuger erreichten den Höhepunkt ihrer Entwicklung zu Beginn der Erdneuzeit, z. B. *Taeniolabis*, ein Tier von Bibergröße.

Die Ahnen der höher entwickelten Säugetiere, der *Eutheria* (»Placentalia«), am Ende der Kreide und in der Erdneuzeit sind die *Pantotheria*. Anordnung und Mechanismus der Backzähne dieser Tiergruppe finden sich bei den primitiven Vertretern der späteren Säugetiere wieder. Aus diesem Grunde sieht man in ihnen die direkten Ahnen der Beuteltiere (Marsupialier) und der placentalen Säugetiere. Es waren meist räuberische Insektenfresser, verwandt mit dem modernen amerikanischen Opossum, den Spitzmäusen und Igel. Bedeutende Funde stammen aus Kreideschichten Nordamerikas und der Mongolei.

Vielgestaltigkeit, Artenfülle, Kurzlebigkeit und teils weite regionale Verbreitung sind Merkmale der sich während der nun folgenden Erdneuzeit rasant entwickelnden Säugetiere. Sie lieferten während des Tertiärs und

**Reptilien (Bauria)**

kleiner Hirnschädel



verschiedene Unterkieferknochen einfache Backenzähne

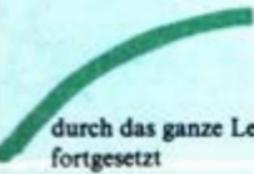
Steigbügel



allgemein kleines Darmbein



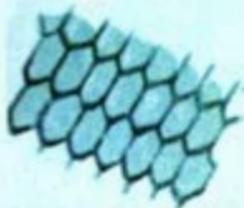
durch das ganze Leben fortgesetzt



ungleich warm



Schuppen oder Haut



Eier, keine Brutpflege, keine Milch



Schädel und Zähne

Ohrknöchelchen

Beckengürtel

Wachstum

Temperatur

Körperbedeckung

Fortpflanzung

**Säugetiere (Opossum)**

ausgedehnter Hirnschädel



komplexe Backenzähne

zahntragender Unterkiefer



Amboß Steigbügel Hammer

nach vorn ausgedehntes Darmbein



begrenzt



gleichwarm



Haare



lebendgebärend und Brutpflege, Milch



Quartärs hervorragende Zeitmarken und Evolutionsbeweise. Die wichtigsten morphologischen Merkmale der Säugetiere im Unterschied zu den Reptilien sind in der Abbildung auf Seite 96 zusammengestellt.

Der Schädel der Säugetiere hat wesentlich weniger Knochenelemente als der anderer Wirbeltiergruppen. Im Zusammenhang mit der Vergrößerung des Gehirns tritt der Hirnschädel besonders hervor.

Säugetiere besitzen ein nach Funktionen differenziertes Gebiß aus Schneide-, Eck- und Backzähnen. Die sehr hohe Anzahl der Zähne bei Reptilien ist jetzt auf maximal 44 reduziert. Eine besondere Vervollkommnung verzeichnet das Ohr. Das Unterkiefergelenk der Reptilien ist bei den Säugern ins Mittelohr verlegt und zu zwei Ohrknöchelchen – Amboß und Hammer –, umgebildet, der Steigbügel wurde von den Reptilien ererbt. Auf diese Weise ist ein kompliziertes Übertragungssystem von Schwingungen über das Trommelfell von außen durch die Ohrknöchelchen zum inneren Ohr entstanden. Die äußere Ohrmuschel, als Schallfänger dienend, steigert die Hörfähigkeit erheblich. Typisch ist auch eine vor Wärmeverlust schützende Bedeckung der Körperoberfläche mit Haaren. Dies ermöglicht eine fast konstante Körpertemperatur: Säuger sind Warmblüter, also in kaltem und warmem Klima gleich leistungsfähig und somit weitgehend von ihrer Umwelt unabhängig. Das Säugerskelett ist durch weitere Merkmale gekennzeichnet, doch sollten hier nur einige der wichtigsten und auffallendsten genannt werden.

Für das Auftreten der Säugetiere im Tertiär waren neben den evolutionären Faktoren maßgeblich paläogeographische Gesetzmäßigkeiten verantwortlich, wie das Vorhandensein oder Fehlen von Landbrücken zwischen den damaligen Kontinenten, und palökologische Gegebenheiten.

Dies belegen vor allem die eierlegenden Kloakentiere und die Beuteltiere. Die fossile Überlieferung dieser Säugetiere ist geographisch so fragmentarisch und be-

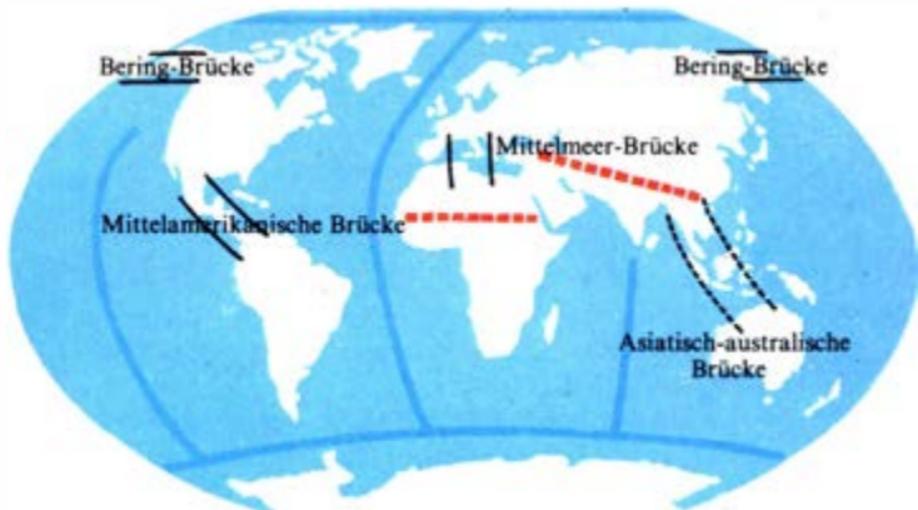
*Auswahl unterschiedlicher Merkmale von Reptilien und Säugetieren (nach Colbert)*

grenzt und ihre Verbreitung auf Australien und Südamerika beschränkt, daß dies nur eine Folge paläogeographischer Verteilung und Verbindung der Landmassen zu Beginn und während des Känozoikums sein kann. Australien bildete seit Ende der Kreidezeit einen isolierten Kontinent. Daher überlebten hier – geschützt vor der Konkurrenz der sich anderenorts höherentwickelnden plazentalen Säuger – zwei ihrer primitiven Typen: Schnabeltier und Ameisenigel. Bei beiden handelt es sich um eierlegende Säugetierformen. Ihre Eier sind den Reptileiern ähnlich, die Jungen werden durch umgewandelte Schweißdrüsen mit Milch gesäugt. Einige Merkmale des Skelettbaues erinnern an Reptilien, so ist z. B. der Schultergürtel urtümlich. Sie besitzen ferner eine Kloake.

Das Schnabeltier lebt in Flüssen und bewohnt unterirdische Baue entlang der Uferbänke; der Ameisenigel ist auf ein igelartiges Leben in dichten Wäldern spezialisiert. Beide bilden eine völlig isolierte Abstammungslinie der säugetierähnlichen Reptilien. Sie stellen ein vermittelndes Entwicklungsstadium zu den höheren Säugetieren dar.

Die Beuteltiere nehmen sowohl phylogenetisch als auch morphologisch eine Zwischenstellung zwischen den eierlegenden und den plazentalen Säugetieren ein. Ihre Entwicklung und gegenwärtige Verbreitung ist ebenfalls eng an die paläogeographische Entwicklung der kontinentalen Landmassen während der Erdneuzeit gebunden. Typisch für diese Tiergruppe ist, daß die weiblichen Tiere die Jungen in einer beutelartigen Hautfalte bzw. Tasche (Marsupium) tragen und dort ernähren.

Das amerikanische Opossum – ein »lebendes Fossil« – gilt als der Ahne der Beuteltiere. Es ist ein katzen großer, auf Bäumen lebender und mit einem nackten, rattenähnlichen Schwanz versehener Allesfresser, der Insekten als Nahrung bevorzugt. Die geologisch ältesten sicheren Beuteltierreste wurden in der Oberkreide Nordamerikas gefunden. Die Heimat der Beuteltiere jedoch war und ist Australien, wo sich fossile Reste vom Oligozän an bis in die eiszeitlichen Schichten hinein finden. Wolf- und maulwurfähnliche Formen, wie der fleischfressende



			
konstante marine Barrieren	innerkontinentale Barrieren	Haupt- Verbin- dungen	zeitweilige Verbin- dungen

*Die Erde im Zeitalter der Säugetiere. Barrieren und Landbrücken beeinflussen die Verbreitung der Lebewelt (verändert nach Simpson).*

Tasmanische Wolf oder der Beutel»maulwurf«, treten hier neben ameisenfressenden Formen, wie dem Ameisenbeutler, und zahlreichen pflanzenfressenden Gruppen, wie Koala (Beutelbär) und Wombat, auf. Schließlich ist noch als Pflanzenfresser das Känguruh zu nennen, dessen pleistozäne Riesenform das kurzschnauzige *Procoptodon*, in aufrechter Haltung über 3 m hoch, war.

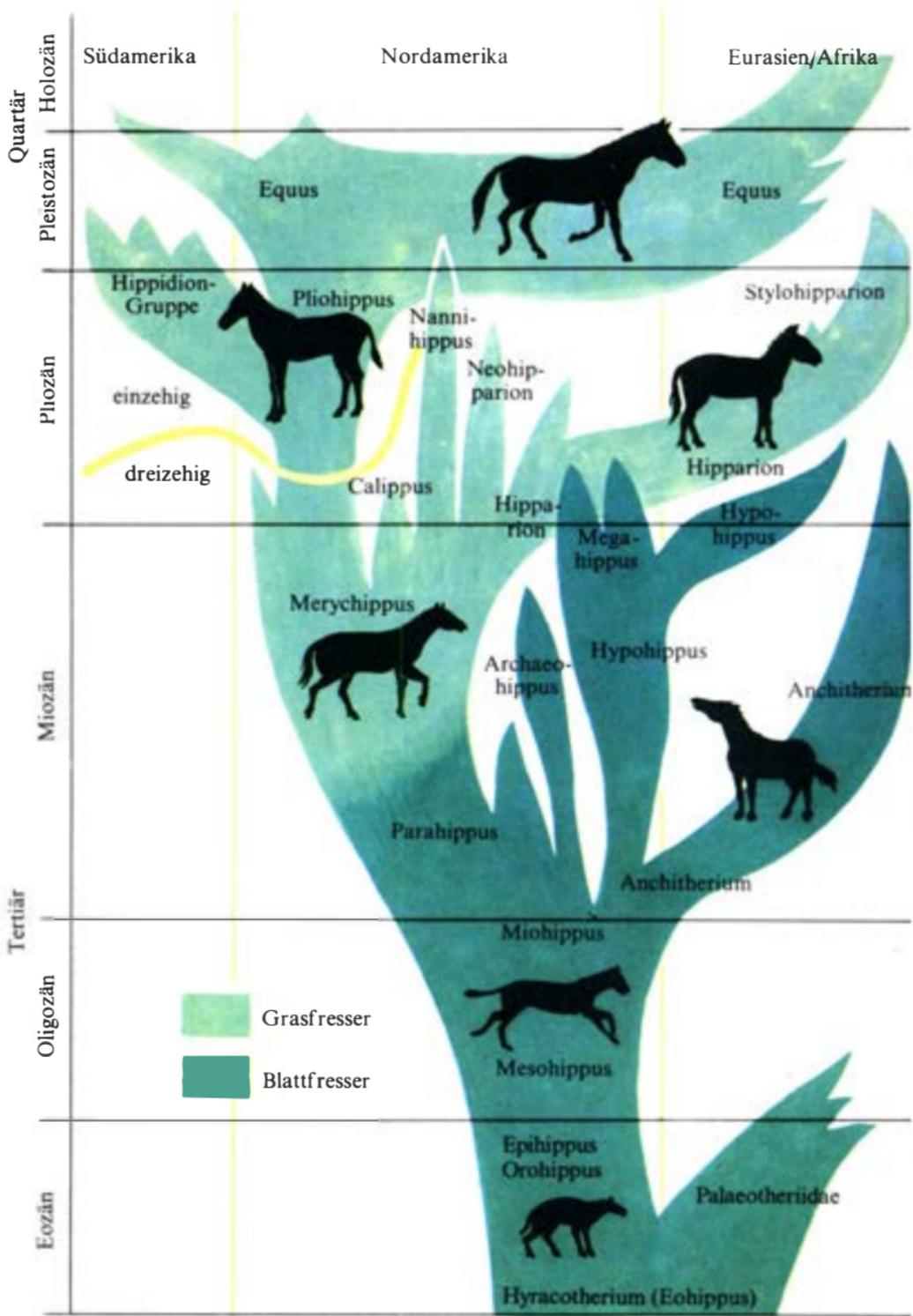
Das Hauptgewicht der Tertiärfauna aber lag bei den höheren bzw. plazentalen Säugetieren (Eutheria). Die Eutheria umfaßten während der känozoischen Periode 2648 Gattungen mit 28 Ordnungen. Von allen fossilen Hartteilen sind die Zähne für das Studium der Eutheria von größter Bedeutung, da sie am häufigsten erhalten blieben, oft im Zusammenhang mit Kieferknochen. Die starke Differenzierung der Mahlzähne (Molaren) und der Vormahlzähne (Praemolaren) ist für die paläontologische Entwicklung der Säugetiere besonders wichtig, sie bilden den Schlüssel für die verwandtschaftlichen Beziehungen der Eutheria.

Die Insektenfresser (Insectivora) sind die eigentliche Stamm- oder Wurzelgruppe der höheren Säuger. Von ihnen aus entwickelten sich nun während des Neozoikums in riesiger Vielfalt und in vielen evolutiven Linien die einzelnen Ordnungen.

Nach Simpson gliedert man die Säugetiere in vier große Gruppen (Kohorten). Die direkten Abkömmlinge der primitiven Insektenfresser sind die Unguiculata, die u. a. die Insektenfresser (Spitzmäuse, Maulwürfe, Igel), die Fledermäuse (Cuiroptera), die Zahnlosen (Edentata), die Schuppentiere (Pholidota) und die Herrentiere (Primates) umfassen. Eine zweite Gruppe, die Glires, werden durch die Nagetiere (Rodentia) und die Lagomorphen (Kaninchen und Hasen) vertreten, während in die dritte Kohorte, die Mutica, Delphine und Wale, also sekundär zum Wasserleben zurückgekehrte Säuger, eingeordnet sind. Die Ferungulata schließlich umfassen die Raubtiere (Fleischfresser oder Carnivora) und alle Huftiere (fleischfressende Säuger, primitive Huftiere, pflanzenfressende Säuger, Unpaarhufer und Paarhufer). Aus all der Vielfalt können hier nur zwei für die Evolution besonders bedeutende Gruppen etwas näher vorgestellt werden: die Unpaarhufer (Pferde, Titanotherien, Chalicotherien, Tapire, Rhinozerosse) und die Rüsseltiere (Moeritherien, Dinotherien, Mastodontier, Mammute, Elefanten).

Den wohl besten Einblick in die Entwicklungsgeschichte liefert uns die Stammesgeschichte der Pferde. Bemerkenswert ist die sehr vollständige fossile Überlieferung des paläontologischen Beweismaterials schon vom Beginn der phylogenetischen Geschichte der Pferde im Alttertiär (frühes Eozän) bis zur Gegenwart. Nordamerikanische Sedimentablagerungen aus Steppengebieten, in denen sich diese Evolution abspielte, bilden die Fundgruben für diese Stufenreihe und ihre Beweise. Körpergröße, Gehirnentwicklung, Entwicklung der Vorder- und Hinterextremitäten und ihres Mechanismus, Zahnhöhe und Zahnkronenmuster sowie deren Veränderungen in

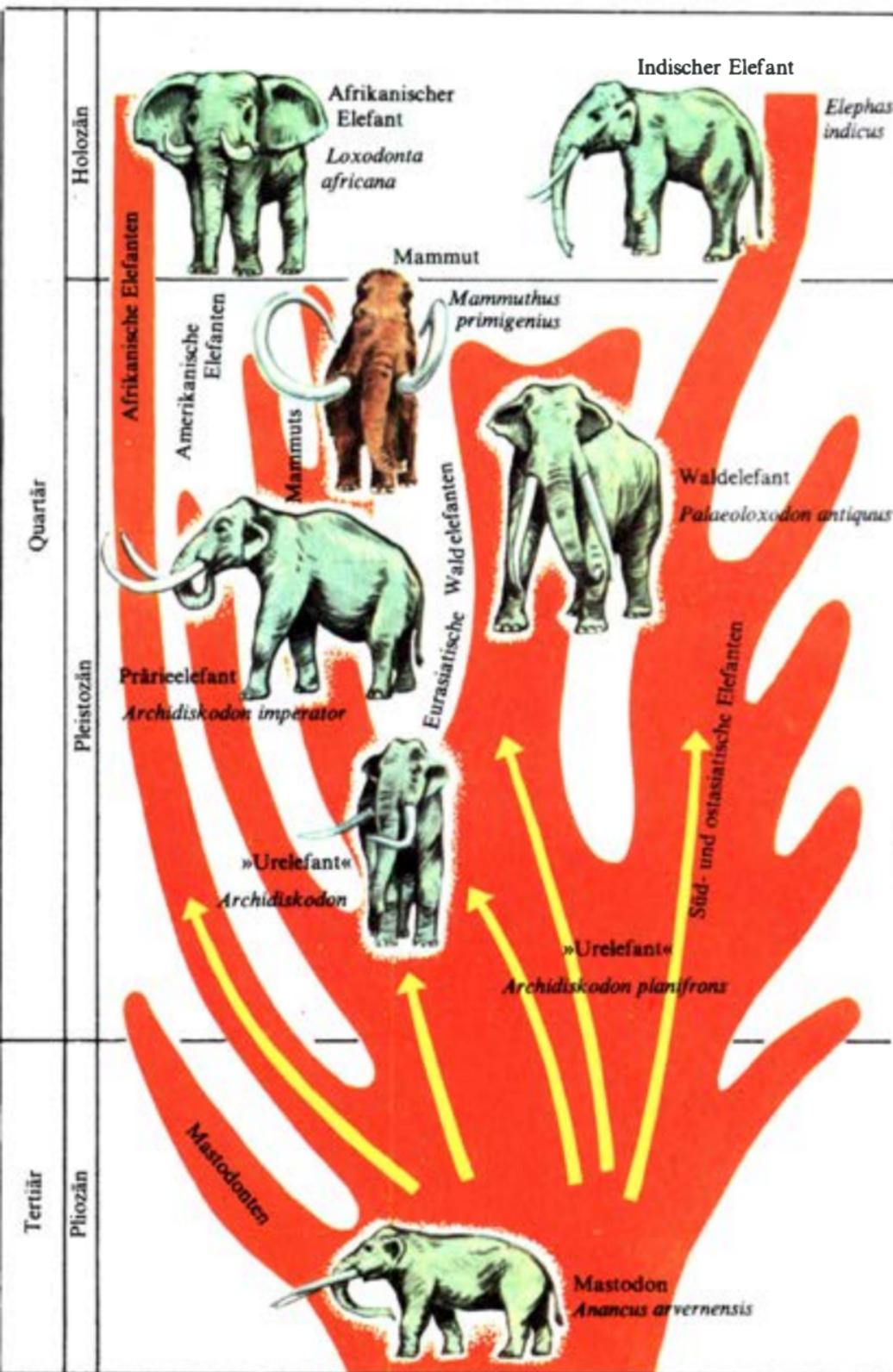
*Der Stammbaum der Pferde. Rekonstruktionen maßstäblich (nach Simpson und Thenius)*



zeitlicher Abfolge sind bedeutsam für die Geschichte der Pferde.

Am Beginn der Entwicklung im Untereozän steht *Hyracotherium* (»*Eohippus*«). Es war ein etwa fuchsgroßes Tier, ein vierfingeriger bzw. dreizehiger Zehengänger (funktionell dreistrahlige Extremität), und es besaß vierhöckerige, niedrigkronige Zähne. *Hyracotherium* gilt als der Ahn der Pferde, der in tropischen Urwaldgebieten als Buschschlüpfer zu Hause war und sich vom Laub der Bäume und Büsche ernährte. In Nordamerika entwickelten sich die eozänen Pferde in nur einer Linie über *Orohippus* zu *Epihippus* weiter, in Europa dagegen spalteten sie sich in sechs Entwicklungslinien auf. Das Braunkohlentertiär des Geiseltales bei Halle lieferte einmaliges Fundmaterial über diese Pferdeahnen. Die weitere Entwicklung der Pferde war dann auf den nordamerikanischen Kontinent beschränkt, doch wanderten in den mittleren und jüngeren Tertiärabschnitten immer wieder einzelne Gruppen nach Südamerika oder über die landfeste Beringstraße nach Eurasien und Afrika ein. Weitere entscheidende Fortschritte sind dann am Ende des Oligozäns bei der Pferdeart *Miohippus* zu beobachten: Die Zwergpferde erreichten die Größe eines Schafes; alle Füße wurden dreizehig; die Kronen der Backzähne wiesen bereits V-förmige Leisten auf. Es waren fortgeschrittene Laubfresser oder Blattäser, die recht schnell und ausdauernd über festen und harten Boden laufen konnten. Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Umwelt, insbesondere der Verbreitung der frühen Gräser und der Blütenpflanzen, traten ab Miozän mehrere Entwicklungslinien auf, z. B. *Archaeohippus*, *Hypohippus* und *Anchitherium* – sämtlich laubäsende Waldpferde. Die Hauptlinie setzte sich im Spätmiozän mit *Meryc-hippus*, einem ponygroßen Pferd, fort. Es besaß hochkronige Backzähne, deren Leisten über den Schmelz und das Dentin herausragten. Diese Zähne zermahlten harte Pflanzenfasern und Samen. Diese sogenannten

*Der Stammbaum der pleistozänen und rezenten Elefanten (nach Dietrich und Kahlke)*



Equinen waren die ersten grasfressenden Steppenpferde, aus denen dann über *Pliohippus* an der Pliozän-Pleistozän-Grenze die modernen Einhufer hervorgingen, die über die Beringbrücke wieder nach Eurasien und Afrika gelangten. Diese Gruppe der weltweit verbreiteten Pferde mit der Gattung *Equus* ist von großer Gestalt, einzeilig und besitzt hohe Zähne mit einem komplizierten Schmelzfaltenmuster. Das Pferd starb in Nordamerika am Ende der Eiszeit aus.

Vielfach wurde die Stammesgeschichte der Pferde als Beispiel einer geradlinigen Entwicklungsreihe (Orthogenese, Orthoselektion) angesehen, doch ist sie das nach den modernen Erkenntnissen nicht. Im zeitlichen Ablauf wechselten vielmehr zahlreiche Körpermerkmale in ihrer Entwicklung. Rasche und intensive Umwandlungen wurden von Stillstandsphasen abgelöst, oder einzelne Merkmale änderten sich stetig und lang anhaltend. So zeigt die Entwicklungsreihe der Pferde besonders gut die Zusammenhänge und die Beziehungen zwischen Umweltbedingungen, Auslesemechanismus und Anpassung, die die Entwicklung einer Tiergruppe im erdgeschichtlichen Zeitablauf bestimmen.

Eine weitere entwicklungsgeschichtlich interessante Säugetiergruppe ist der Formenkreis der Rüsseltiere oder Proboscidier. Zahlreiche Fossilfunde vermitteln einen Einblick in die erdgeschichtliche Entwicklung der ehemals fast weltweit (außer in Australien) verbreiteten Tiergruppe.

Urheimat der geologisch ältesten Rüsseltiere im Alttertiär war Afrika. Das tapirgroße *Moeritherium*, zwar noch ohne Rüssel, ist der älteste Vertreter der Rüsseltiere. Wegen ihrer einseitigen Anpassungen starben diese Tiere jedoch am Beginn des Oligozäns wieder aus und kommen als direkte Ahnenformen der Entwicklungsreihe der Rüsseltiere nicht in Frage, vielmehr tritt das zwergelefantengroße *Palaeomastodon* an diese Stelle. Bei ihm sind schon proboscidierartige Merkmale, wie Verlängerung der Kieferknochen, die im Oberkiefer und Unterkiefer Stoßzähne tragen, vorhanden, wenn auch noch nicht voll entwickelt.

Erst im Altmiozän, nun bereits mit vergrößerten Ober-

kieferstoßzähnen versehen, breiteten sich die Mastodonten in Europa und Asien aus und wanderten während dieser Zeit über die Beringbrücke nach Nordamerika, in der Eiszeit erreichten sie sogar Südamerika. Ursprünglich langkieferig, entwickelten sich die Mastodonten zu kurzkieferigen, mit einem Rüssel versehenen, elefantenartigen Formen, die stoßzahnlose Unterkiefer besaßen. Sie starben im Altpleistozän in Europa aus.

Nun traten in Eurasien und Afrika die ersten echten Elefanten (Elephantidae) in zwei Stammlinien auf, von denen sich die heutigen afrikanischen (*Loxodonta*) und die indischen Elefanten (*Elephas*) ableiten. Hochkronige Backzähne und Ausbildung von Lamellenzähnen mit zunehmender Zahl der Querjoche (Lamellen) sind charakteristisch für die modernen Elefanten. Die Backzähne nehmen im Laufe der Entwicklung an Größe zu und an Zahl ab. Der Südelefant (*Archidiskodon*) ist die Ausgangsform der *Elephas*-Gruppe Asiens und der eiszeitlichen Altelefanten (*Palaeoloxodon*) und Mammute. Letztere Gruppe wurde in ganz Europa und Nordasien (sibirische Mammutfunde) durch Waldsteppenformen mit *Mammuthus trogontherii*, (z. B. Mammut von Sangerhausen-Voigtstedt) und Kältesteppenformen, wie *Mammuthus primigenius* (z. B. das Geiseltal-Mammut und das Röthaer Mammut) vertreten.

Ähnlich wie bei den Pferden war die Ausbreitung der Elefanten abhängig von einer Nahrungsumstellung. Aus reinen Blattäsern wurden im Laufe der geologischen Entwicklung Kraut- und Grasfresser.

Die am höchsten entwickelten Säugetiere, die Primaten oder Herrentiere, reichen mit ihren niederen Formen, wie Halbaffen (Prosimier), bis an den Beginn des Tertiärs zurück. Außer in Australien waren sie weltweit verbreitet. Sie gingen aus den Insektenfressern hervor. Echte Affen (Anthropoidea), auch erste Menschenaffen (Pongiden), sind aus dem Oligozän bekannt.

Werfen wir schließlich noch einen Blick auf die Wirbellosenfauna des Tertiärs. Bei den Wirbellosenklassen haben die Mikroorganismen – unter anderem im Zusammenhang mit der Erdölgeologie – an Bedeutung gewonnen. Sie entwickelten sich in großer Formenfülle

und spielen als Leitfossilien und bei der Erschließung neuer Rohstoffressourcen in der angewandten Paläontologie eine große Rolle. Ähnliches gilt für die Schnecken und Muscheln, ihr Artenreichtum und ihre Formenfülle wuchsen an.

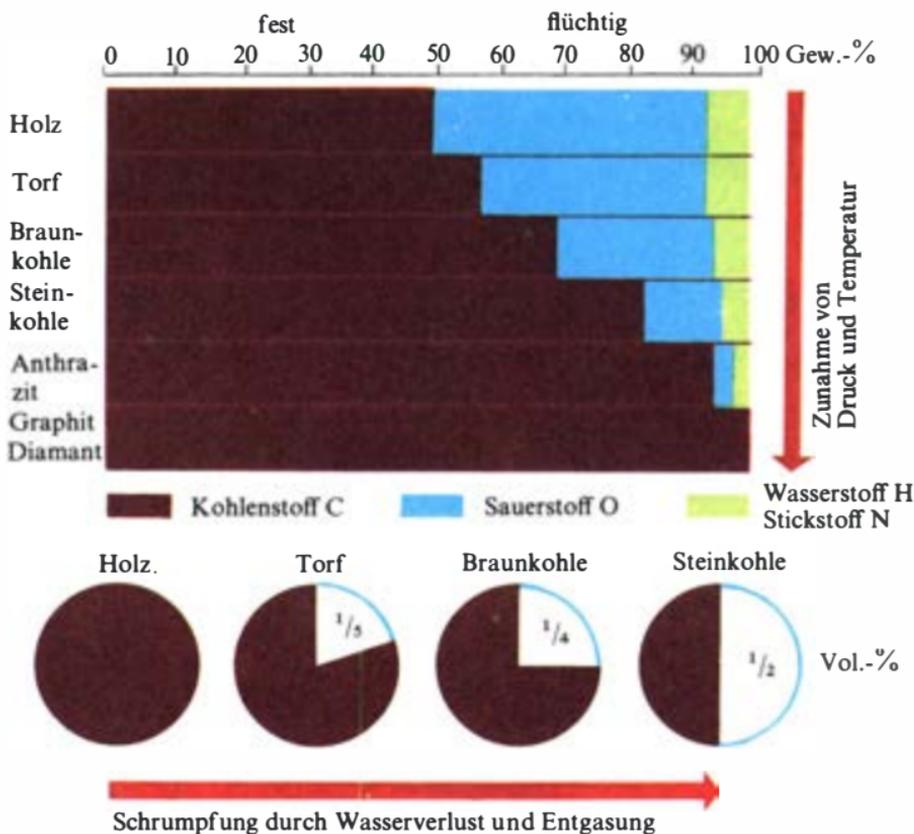
So näherte sich die Entwicklung der Tier- und Pflanzenwelt im Laufe des Tertiärs in vieler Hinsicht mehr und mehr derjenigen der geologischen Gegenwart an. Die Funde von Tier- und Pflanzenresten des Quartärs geben infolge der kurzen Dauer von etwa 2 Millionen Jahren nur wenige Hinweise für die Entwicklungsgeschichte der Organismenwelt. Sie vermitteln aber dafür einen Einblick in die Klimageschichte vor 1,5 bis 2 Millionen Jahren der Erdgeschichte.

## Die Pflanzen- und Tierwelt der Braunkohlenwälder

Bemerkenswert für das Tertiär – ähnlich wie für das Karbon – ist sein Reichtum an Kohlen, daher wird dieser Zeitabschnitt der Erdgeschichte oft auch als »Braunkohlenzeit« bezeichnet. Der während dieser Zeit entstandene Bodenschatz ist besonders in der DDR heute und in Zukunft der wichtigste Primärenergie-träger und hat demzufolge größte volkswirtschaftliche Bedeutung. Daneben aber vermitteln die in der Kohle enthaltenen pflanzlichen und tierischen Reste ein eindrucksvolles Bild der damaligen Lebewelt.

Kohle ist ein aus Resten fossiler Pflanzen bestehendes Sedimentgestein, ist weitgehend innerhalb früherer geologischer Zeiträume entstanden und dem Schichtenbau der Erde eingefügt. Wir kennen Braunkohlen und Steinkohlen, die sich jedoch nur in ihrer physikalisch-chemischen Beschaffenheit, nicht aber in ihrem geologischen Alter unterscheiden.

Voraussetzung für das Entstehen großer Braunkohlenlagerstätten, wie sie in den mittleren Bezirken der DDR, in der BRD, der VR Polen, der ČSSR und anderenorts auftreten, ist die Ansammlung riesiger Pflanzenmassen



### Inkohlungsschema (nach Krumbiegel)

in fossilen Torfmooren. Daher führte erst die Entfaltung der Flora im frühen Erdaltertum während des Devons zu echter Kohleflözbildung. Die Pflanzen eroberten damals in kurzer Zeit das Festland, und im Karbon bildeten sich erstmalig üppige Waldmoore (Sigillarien-Wald und Calamiten-Röhricht). Jedoch waren die torfbildenden Pflanzengesellschaften noch nicht so mannigfaltig entwickelt wie in späteren geologischen Zeiten, z. B. im Tertiär. Es waren in der Hauptsache Sporenpflanzen, wie Farne, Bärlapp- und Schachtelhalmgewächse.

Die Tertiärflora dagegen war weit spezialisierter und ähnelte schon sehr der heutigen Pflanzenwelt. Die Pflanzen paßten sich im Laufe ihrer geologischen Entwicklung an die verschiedenen ökologischen Bedingungen immer besser an, so daß sich die tertiären Kohlen in botanischer und chemischer Hinsicht viel stärker voneinander unterscheiden als die karbonischen.

Der Umbildungsprozeß der fossilen pflanzlichen Stoffe zur Kohle verlief stufenweise in der Reihenfolge: Holz – Torf – Braunkohle – Steinkohle – Anthrazit – (Graphit) und ging meist in fossilen Flach- bzw. Niedermooren vor sich.

Zunächst vertorfte die pflanzliche Substanz (biochemische Inkohlung), d. h., sie wurde durch Verwesung, Vermoderung und Fäulnis zu Humusstoffen abgebaut. Wasserbedeckung und Luftabschluß waren hierfür Voraussetzungen. Die zersetzende Tätigkeit aerober Bakterien, die sonst die organischen Reste vollständig abbauen, mußte durch Wasserbedeckung und Luftabschluß unterbunden sein. Dann konnten anaerobe Bakterien die organischen Stoffe zerstören und die bei diesem Vorgang freiwerdenden Sauerstoffverbindungen für ihren eigenen Stoffwechsel verbrauchen. Als Zersetzungsrückstand verblieb der Torf. Nunmehr setzte die eigentliche Kohlebildung oder Inkohlung ein.

Der Inkohlungsprozeß erforderte neben dem geologischen Zeitfaktor bestimmte Druck- und Temperaturbedingungen. Bei der Inkohlung bildeten sich entweichende Gase (Schwefelwasserstoff –  $H_2S$ , Kohlendioxid –  $CO_2$ , Methan oder Sumpfgas –  $CH_4$ ) und andere Kohlenwasserstoffe. Die ehemalige Pflanzensubstanz verliert dabei mehr und mehr ihre ursprüngliche Struktur. Durch Entgasung und durch Entwässerung schrumpft das Ausgangsmaterial stark ein. Der Kohlenstoff wird auf Kosten der



Sequoia-Moor

Myricaceen-Cyrillaceen-Moor

Waldmoorkohlen

anderen Bestandteile der brennbaren Substanz angereichert – es entsteht Kohle.

Entscheidend für die Kohlearten waren die Druckbedingungen, wie Belastungsdruck auflagernder Sedimente und tektonischer Druck bei Gebirgsbildungen, aber auch die Temperaturbedingungen, z. B. beim Versinken der Torfmassen in größere Tiefen oder vulkanische temperaturerhöhende Ereignisse (chemische Inkohlung). Grundsätzlich ist in allen Zeitabschnitten der Erdgeschichte Steinkohlen- und Braunkohlenbildung möglich gewesen.

Die Strukturen der ehemaligen Pflanzenbestandteile der Braunkohlen sind heute nur selten einwandfrei erkennbar. Gelegentlich finden sich jedoch Pflanzenrelikte, wie Wurzeln und Äste, gut erhaltene und sogar noch grüne Blätter (z. B. im Geiseltal), Pollen, Samen, Früchte, Zapfen und Holzreste. Stellenweise beobachtet man sogar ganze Baumstämme und Wurzelstöcke abgefauter Bäume (Stubben).

Eingehende paläobotanische Untersuchungen der Pflanzengesellschaften der verschiedenen tertiären Braunkohlenarten und -schichten und Vergleiche mit der gegenwärtigen Flora lassen erkennen, daß in den fossilen Mooren eine Reihe charakteristischer Pflanzenverbände feststellbar sind. Im Zentrum der Moore traten

*Die räumliche Verbreitung verschiedener pflanzlicher Vegetationsbereiche in einem tertiären Braunkohlenmoor (nach Teichmüller)*



limnisch-telmatische Riedgrasgebiete und Verlandungszonen von Mooreseen auf, ähnlich den heutigen Everglades von Florida/USA. Heute machen sich diese ehemaligen Moorbereiche durch die helle Bänderung bemerkbar, die von vorwiegend bitumenreichen Schichten gebildet wird. Demgegenüber gab es differenzierte Wald-, Busch- und Laubbaumstandmoore, die sich als dunkle Schichten in den Braunkohlenflözen abzeichnen. In diesen Sumpfwald- bzw. Bruchwaldgebieten, wie sie heute im Gebiet des Mississippi-Deltas in den USA zu beobachten sind, findet man Sumpffypressen (*Taxodium*), Tupelobaumgewächse (*Nyssa*) und *Glyptostrobus* neben Wasserlilien (*Iris*, *Crinum*) und Farnen (Tüpfelfarne, Königsfarne). Hieran schließen sich nach außen Buschmoore mit Büschen und Sträuchern von Gagelgewächsen (Myricaceen) und Cyrtaceen (Stechpalmengewächse) an. Aber auch Magnoliaceen-Gewächse, Symplocaceen, Zaubernuß-, Reben- und Liliengewächse dürften in den Buschmooren aufgetreten sein. Schließlich folgt noch der Sequoia-Trockenwald mit dem charakteristischen Mammutbaum (*Sequoia*), einem Verwandten des kalifornischen Rotholzbaumes.

So ist es mit Hilfe pflanzlicher Reste in tertiären Kohlen möglich, das sehr abwechslungsreiche Bild der differenzierten tertiären Moore mit ihrer subtropischen bis tropischen Pflanzenwelt zu rekonstruieren und einen Einblick in die erdgeschichtlichen Entwicklungsvorgänge zu bekommen, vor allem über die Klimazonen der Erde und die Klimaentwicklung.

Doch auch über die Tierwelt der Braunkohlenwälder ist man heute genau und gut orientiert. Aus der Periode der »explosiven« Entwicklung der Säugetiere lieferte auf dem Gebiet der DDR die Braunkohle des Geiseltales bei Halle mit über 50000 Funden verschiedenartigster Tiergruppen aus etwa 150 Fossilfundstellen wichtige Evolutionsbeweise. Sie gestatten die Rekonstruktion eines umfassenden Bildes vom tierischen Leben dieser Zeit.

Das komplexe Zusammenwirken einer Reihe günstiger geologischer Bedingungen (schnelle Absenkung durch Salzauslaugung der Zechsteinsalze im tieferen Unter-

grund, klimatisch bedingte Katastrophenzeiten, Neutralisation der pflanzlichen Huminsäuren durch Kalkwasserzufuhr) führte im Geiseltal zur Erhaltung der tierischen Fossilreste mit vollständigen Skeletten und Weichteilen, aber auch von Chemofossilien.

Die Fossilanreicherungen finden sich in Einsturztrichtern, ehemaligen Erdfällen und Tränkstellen der Tiere, in Leichenfeldern, die durch Austrocknung der flachen Resttümpel des Hochwassers der Regenzeiten entstanden, in Bachläufen und deren Uferbereichen. Aus ihnen werden die Fossilien mit Hilfe komplizierter Präparationsmethoden geborgen. Dabei werden die Lagebeziehungen der Fossilien im Sediment beachtet, um Rückschlüsse über das Leben und Sterben der Tiere zu ziehen. Die Methoden der Biostratigraphie und Biostratonomie ermöglichen einen oft bis ins kleinste gehenden Einblick in die fossilen Lebens- und Toten- oder Grabgemeinschaften.

Wie sah nun die Tierwelt der ehemaligen Braunkohlenmoore aus? Als höchstentwickelte Lebewesen gab es in den subtropischen Regenwäldern des Geiseltales kleine Vertreter der Halbaffen, wie Altlemuren und Koboldmakis. Es waren nur wenige Zentimeter große Tiere, die teilweise noch eng mit den Insektenfressern verwandt waren. Insektenfresser wurden z. T. durch Nachkommen paläozäner Arten oder durch primitive Formen aus der Verwandtschaft der Igelartigen vertreten. Eine ursprünglich zu den Primaten gestellte Form, *Ceciliolemur*, weist aber bereits eine typische insektivore Hinterextremität und Stacheln im Haarkleid des Nackens auf. Die Geiseltalformen haben daher besondere Bedeutung für die Stammesgeschichte der plazentalen Säuger. Auch »fliegende Säuger«, die Fledermäuse, sind durch gut erhaltene Skelette überliefert, an ihrem Gebiß sind jedoch noch altertümliche Entwicklungsmerkmale zu beobachten.

Unter den Säugern finden sich neben primitiven Beuteltieren viele Reste von Urraubtieren (Creodonta). Die bei dieser Gruppe charakteristische Reißzahnausbildung, die Brechschere, ist bei den Creodontiern des Geiseltales noch unvollkommen entwickelt. Zahlenmäßig am stärksten

sind bei den Säugetieren die Huftiere durch die tapirähnlichen Lophiodonten und die Altpferde (Palaeotheriiden) vertreten. Lophiodonten sind besonders als Leitfossilien für die Altersbestimmung der Geiseltalkohle (Mittelleozän) wichtig. Bei ihnen ist von der Flöz-

*Lebensbild im Bereich eines in einen Moorsee mündenden Bachlaufes innerhalb der Waldmoorgebiete des eozänen Geiseltales. Die Lebewelt des Wassers weist kleinwüchsige Raubfische (Hechte, Barsche, Lachse und Schlammfische) auf. Daneben sind Altolme und Molche neben einer individuenreichen Schildkrötenfauna aus Weich-, Sumpf- und anderen Wasserschildkröten sichtbar. Innerhalb der subtropischen Ufervegetation leben Frösche, Riesenschlangen und Krokodile (verändert nach Zappler und Insinna).*



basis zur Flözoberkante eine kontinuierliche Größenzunahme erkennbar.

Die hundegroßen Geiseltalperde, z. B. *Propalaeotherium hassiacum* – das Wappentier des Geiseltalmuseums in Halle –, sind keine direkten Ahnen unserer heutigen Pferde, zeigen aber deren alttümliche Körpermerkmale. Die Höckerstruktur der Zähne und die Vielfingerigkeit und Vielzehigkeit an den Extremitäten deuten auf die aus Laub bestehende Nahrung hin. Die Vielhufigkeit verlieh dem Tier, das als Buschschlüpfer in der moorigen Umgebung und in den Galeriewäldern des Geiseltales in Rudeln von 10 bis 12 Individuen lebte, eine gute Bewegungsmöglichkeit.



Vertreter der Paarhufer (Artiodactyla) war *Anthrocodunodon*, ein Vorläufer der heutigen Schweine. Diese primitiven Säuger von schweineähnlicher Gestalt führten ein amphibisches Leben und sind kennzeichnend für Sumpfbiete.

Rückschlüsse auf den Landschaftscharakter des tertiären Geiseltales und seiner Umgebung ermöglichen vor allem die zahlreichen Vogelfunde (Skelettreste und Federn). Als Bewohner offener Graslandschaft (Buschsteppen) gilt eine Groß- oder Alttrappe (*Palaeotis*). Ein Vertreter des offenen Sumpflandes und feuchter Niederungen ist der Altkranich (*Ornithocnemus*) neben dem in dichten Uferwäldern lebenden Nashornvogel (*Geisloceras*), als Großraubvogel trat ein Kondor (*Eocathartes*) auf. Der schwere, etwa 2 m hohe Riesenlaufvogel *Diatryma* lebte ebenfalls als Buschbrecher in den dichten Waldgebieten des eozänen Geiseltales zusammen mit *Saurornis*, dem »Sauriervogel«.

Eine weitere wichtige Tiergruppe sind die durch zahlreiche Funde belegten Kriechtiere. Die Krokodile bilden im Geiseltal eine Lokalfauna. Kurzschnauzige Alligatoren und langschnauzige Kaimane lebten als gefährliche Räuber in den Sumpfwäldern, wie sich durch Krokodilzähne, die in Pferdeunterkiefern steckten, heute noch nachweisen läßt. Das Lebensbild der Braunkohlenwälder wird erweitert durch die meist vollständigen Skelette der fast 2,5 m langen Riesenschlangen, Angehörige der Stummelfüßer (Boiden) und Rollschlangen (Aniliiden).

Schleichen (Anguidae), Eidechsen (Lacertidae), Wühlchsen (Scincidae) und Necrosauridae stellen mit über 200 Exemplaren bisher die besterhaltene und mannigfaltigste Fauna der Welt dar. Sogar rote Blutkörperchen wurden hier erstmalig fossil belegt. Ähnliches gilt für die rund 300 Schildkröten-Exemplare (Land-, Sumpf- und Weichschildkröten). Diese Fauna deutet auf ökologische Verhältnisse hin, wie sie heute in den malaysischen Bergwäldern herrschen.

Von den Amphibien wurden Schwanz- und Froschlurche gefunden. Zu den ersteren gehören über 250 Reste des Altolms (*Palaeoproteus*), eines Vorläufers des Grot-

tenolms. Er war ein vortrefflicher Schwimmer von etwa 15 bis 20 cm Länge. *Tylototriton*, ein luftatmender Molch mit kräftigen Beinen, bewohnte das Festland. Bemerkenswert sind die 162 Froschfunde. Es sind Palaeobatrachiden, Scheibenzünger und Krötenfrösche. Das Fossilmaterial enthält Springer, Kletterer und grabende kurzbeinige Formen, aber auch Kaulquappen fanden sich. Die Weichteilerhaltung läßt Zellstrukturen der Froschhaut erkennen.

Die häufigsten Tierreste aus den ehemaligen Moorseegebieten waren drei kleine Raubfischarten. Sie gehören zu den Hechten, Lachsen und Barschen. Über 1500 Exemplare wurden aus den Leichenfeldern geborgen. Auch fast 500 Exemplare von räuberischen Schlammfischen (Amiidae) wurden neuerdings bekannt und ausgegraben.

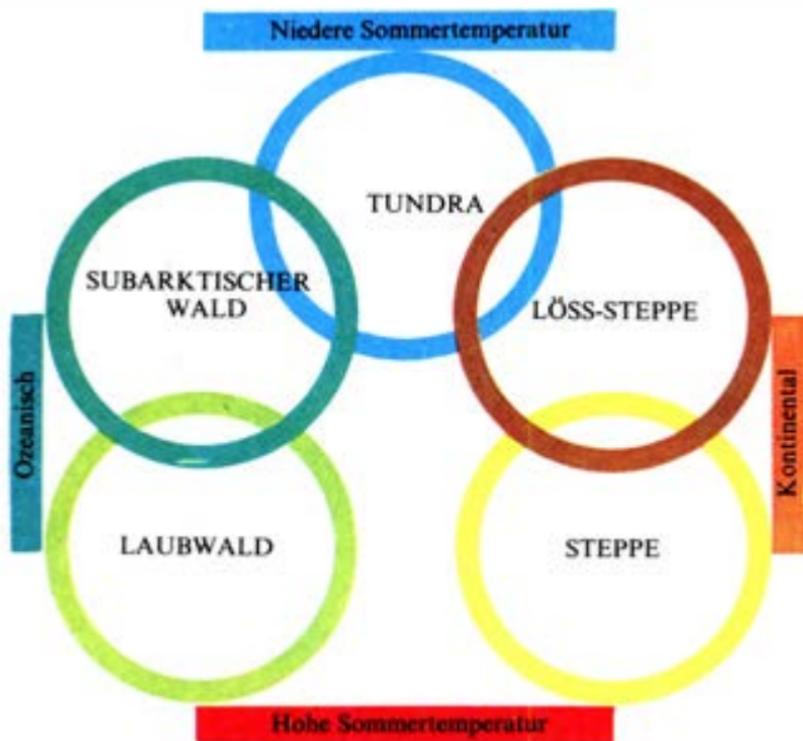
In den Ablagerungen der Tümpel und offenen Wasserstellen wurden ferner massenhaft Wirbellose, insbesondere Insekten, gefunden. Pracht-, Spring-, Leucht-, Schatten- und Aaskäfer lassen oft durch die Erhaltung der bunten und schillernden Strukturfarben ihrer Flügeldecken ein eindrucksvolles Bild von der Farbenpracht der Insektenwelt in den Verlandungszonen und dem Dickicht der Sumpfwälder entstehen.

Süßwasser-, Raub- und Landschnecken sowie millimetergroße Muschelkrebse, aber auch echte Flußkrebse und Wurmreste von Saitenwürmern zeigen, wie üppig die tertiäre Subtropenwelt der Geiseltalmoore vor 50 Millionen Jahren war.

## Die Lebewelt des Eiszeitalters

Die Kenntnis der Tierwelt des Pleistozäns (Diluvium oder Eiszeit) ist nicht nur für den Geowissenschaftler, den Prähistoriker und den Zoologen wichtig und interessant, sondern sie hat durch zahlreiche und eindrucksvolle Großsäugetierfunde, wie Mammut, Wollhaarnashorn, Höhlenbär u. a., schon immer den Laien beeindruckt und ihn oft veranlaßt, sich mit dieser Abteilung des Quartärsystems zu beschäftigen.

Das Wissen über die pleistozänen Säugetierfaunen Europas reicht zurück bis ins Altertum. Damals waren



*Lebensräume und Klimata in Europa während des Eiszeitalters (verändert nach Toepfer)*

an diese Funde häufig recht abergläubische und abenteuerliche Vorstellungen geknüpft: Knochenreste wurden z. B. teils als solche von Riesen, teils als Reliquien von Heiligen angesehen. Wissenschaftlich erfaßt und erforscht wurden die pleistozänen Säugetierfunde erst seit dem Ende des 18. Jahrhunderts. Die Anzahl derer, die sich um die weitere Erforschung der eiszeitlichen Tierwelt verdient gemacht und ihre Ergebnisse in dickbändigen Monographien niedergelegt haben, ist sehr groß. Auch gegenwärtig werden unsere Kenntnisse durch neue Funde und Detailuntersuchungen über die Pleistozänfaunen und -flore, z. B. die von Voigtstedt bei Sangerhausen, Ehringsdorf und Süßenborn bei Weimar sowie bei Bilzingsleben, ständig erweitert.

Die wichtigsten Erscheinungen des Quartärs waren die Vereisungen. Bereits im Tertiär erfolgte eine allmähliche Klimaverschlechterung, die im Eiszeitalter

durch einen ausgeprägten Wechsel von Kaltzeiten und dazwischenliegenden Warmzeiten abgeschlossen wurde. Viermal bedeckten in Europa gewaltige Inlandeismassen die nördlichen Landgebiete. Die Bindung gewaltiger Wassermassen während der Kaltzeiten in den Eiskappen und ihr Abschmelzen während der Warmzeiten hatten Meeresspiegelschwankungen bis zu 200m zur Folge. Dadurch entstanden auf der ganzen Erde zahlreiche Landbrücken, z. B. die Beringbrücke zwischen Nordamerika und Ostasien, die Panamaenge zwischen Nord- und Südamerika, Australien war mit Neuguinea und Tasmanien landfest. Parallel mit diesem langsamen Vordringen und Zurückweichen der Eismassen verschoben sich auch die Klimazonen der Erde – und also auch ihre Säugetierfaunen – über die Kontinente hinweg.

Die quartäre Pflanzen- und Tierwelt ist derjenigen der Gegenwart sehr ähnlich, nur wenige Säugetiergruppen, wie die Elefanten, die Nagetiere und der prähistorische Mensch, entwickelten sich schneller und lieferten gute Leitfossilien. Der seit dem Ausgang der Tertiärzeit verstrichene Zeitraum reichte im allgemeinen nicht aus, um wesentliche Umbildungen der Organismen hervorzurufen. Dafür lieferte aber die eiszeitliche Lebewelt gute Fossilgemeinschaften, die für die damaligen Biotope charakteristisch sind.

Das Landschaftsbild Europas wies zu den Kaltzeiten in den eisrandnahen und vor dem Eisrand gelegenen baumfreien Gebieten Frostschutt-Tundra, Waldsteppen, Lößtundra, Taiga, Kalt- und Warmsteppen sowie Halbwüsten und Mischwälder auf.

Für diese Gebiete sind einige wirbellose Tiere als Leitfossilien von Bedeutung, z. B. die Lößschnecken *Pupilla loessica*, *Succinea oblonga*, *Fruticicola hispida*. An trockenes Klima angepaßt, besaßen sie ein kleines, gedrungenes Gehäuse. Mammut, Wollhaarnashorn, Steppenwisent und Riesenhirsch lebten neben rezenten arktischen Säugern, wie Rentier, Moschusochse, Vielfraß und Eisfuchs, oder neben alpinen Formen (Murmeltier, Steinbock) und Steppentieren, wie Wildpferd und Saigaantilope.

Ein besonderer Fundpunkt der Glazialfauna und -flora

liegt bei Starunia südlich Lwow (Ukrainische SSR). Hier fand man 1907 ein in Salz und Erdwachs eingelagertes Jungtier und 1929 ein vollständiges weibliches Wollhaarnashorn mit Hautresten. Durch Salzwasser und Erdwachs war das Tier in einem ehemaligen Erdwachssumpf auf natürliche Weise »eingepökelt« worden, ähnlich den mit Haut und Haaren »eingefrorenen« pleistozänen Mammuten an der Beresowka in Sibirien oder den jungeszeitlichen und frühholozänen Wirbeltieren in den »Fossilfallen« der Asphalt Sümpfe vom Rancho La Brea in Los Angeles (USA). Die Pflanzenwelt von Starunia setzte sich unter anderem aus Zwergbirken und -weiden, dem Silberwurz (*Dryas octopetala*), der Rauschbeere, der Alpenwiesenraute, Flechten, Moosen und anderen heute in alpinen und arktischen Gebieten heimischen Pflanzen zusammen.

In den Warmzeiten trat demgegenüber unter günstigen Klimabedingungen eine warmgemäßigte Pflanzen- und Tierwelt auf. Die Waldgrenze reichte weit nach Norden. Hier lebten als wärmeliebende Säugetiere die Altelefanten (*Palaeoloxodon*) und der Steppenelefant (*Mammuthus trogontherii*), das Waldnashorn (*Dicerorhinus kirchbergensis*), der Ur (*Bos primigenius*). Aus den älteren Warmzeiten sind sogar Flußpferde und Säbelzahnkatzen bekannt geworden.

Besonders erwähnt werden sollen hier noch einmal die Groß- bzw. Riesenformen unter den Säugetieren in den eiszeitlichen Ablagerungen. Berühmt sind die zahlreichen Mammutfunde in der DDR, z. B. die vollständigen Skelette von Rötha bei Leipzig, von Voigtstedt bei Sangerhausen, aus dem Geiseltal bei Halle und viele Skelettreste und Einzelknochen von zahlreichen anderen Fundplätzen.

Hierher gehören aber auch die Reste des Riesenhirsches *Megaloceros*, des Riesen- oder Breitstirnelches und des Höhlenbären (*Ursus spelaeus*). Aus Südamerika

*Wärmeliebende Säugetiere des Alt- und Mittelpleistozäns in Europa. Sämtliche Tierformen im gleichen Größenverhältnis (verändert nach Thenius)*



Riesenehler



Flußpferd



Riesenhirsch  
(Waldform)



Edelhirsch



Bär



Wasserbüffel



Prädama

W  
A  
L  
D

primitive »Riesenhirsche«



Wolf



Steppenhirsch

S  
T  
E  
P  
P  
E  
N



Mercksches Nashorn  
(Waldnashorn)



Wildpferd



Waldelefant



Steppenelefant

INLAND-EISRAND



Mammut



Wollhaarnashorn



Ren  
(Tundra-  
und Waldform)

TUNDRA

# Kaltfauna



Moschusochse



Przewalskipferd



Höhlenbär



Riesenhirsch  
(Steppenform)



»Höhlentiger«



Saigaantilope

STEPPE



Wisent



Damhirsch



Ur- oder Aurochse

STEPPE



Rot- (Edel-)hirsch



Höhlenhyäne



Elch

# Steppenfauna

sind Riesenfaultiere (*Megatherium*, *Mylodon*) und Riesengürteltiere (*Glyptodon*, *Doedicurus*) bekannt geworden. In Australien lebten Riesenbeuteltiere, Riesenwarane und Riesenschildkröten.

Neben diesen Großformen wurden auf einigen Mittelmeerinseln, wie Kreta, Malta, Sizilien und Zypern, Zwergformen, z. B. Zwergelofanten, Zwergflußpferde, »Zwergriesenhirsche«, gefunden. Es sind Abkömmlinge der Großformen, ihr Auftreten deutet auf alte, während der Eiszeit versunkene Landbrücken im Mittelmeerraum hin.

Betrachtet man die Lebewelt der Eiszeit aus entwicklungsgeschichtlicher Sicht, so erkennt man, daß sie sich ohne große Einschnitte aus der Lebewelt des Tertiärs heraus bis zur Gegenwart weiterentwickelt hat. Die Pflanzen und Tiere zogen sich zwar beim Vorrücken des Inlandeises aus dem Norden nach dem Süden zurück und folgten dem Eis erneut bei dessen Rückzug nach Norden. Örtliche ost-west-verlaufende Gebirgsbarrieren sowie das Mittelmeer behinderten in Europa diesen Rückzug, doch in Asien und Nordamerika war ein ungehindertes Wandern möglich. Entwicklungshöhepunkt der Organismen im Pleistozän war die Menschwerdung. Beginnend im Grenzbereich Tertiär/Quartär differenzierte sich nun die Menschwerdung unter der Einwirkung der großen Vereisung Eurasiens während des Eiszeitalters.

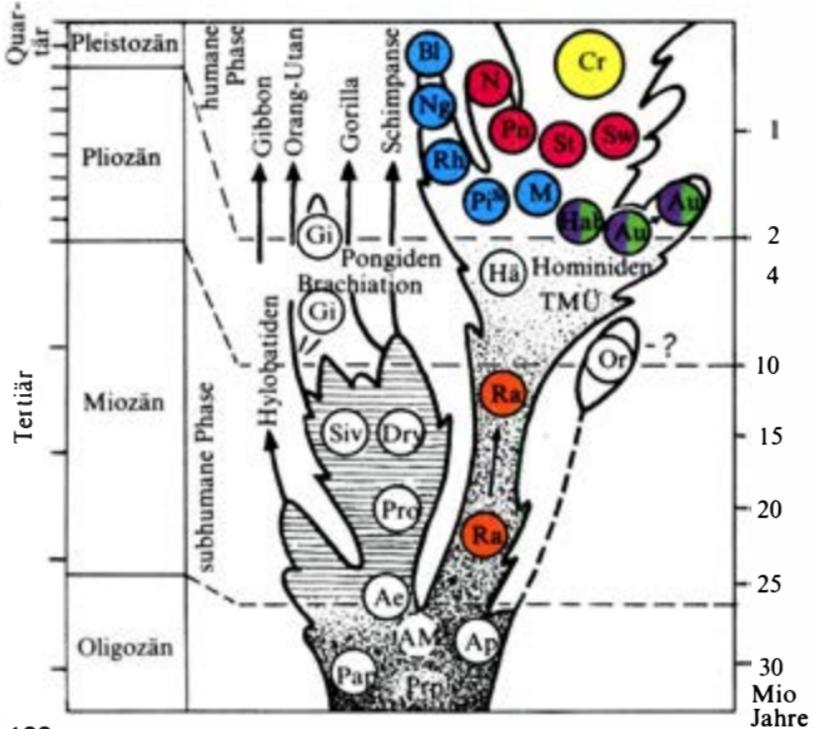
## Der Ursprung des Menschen

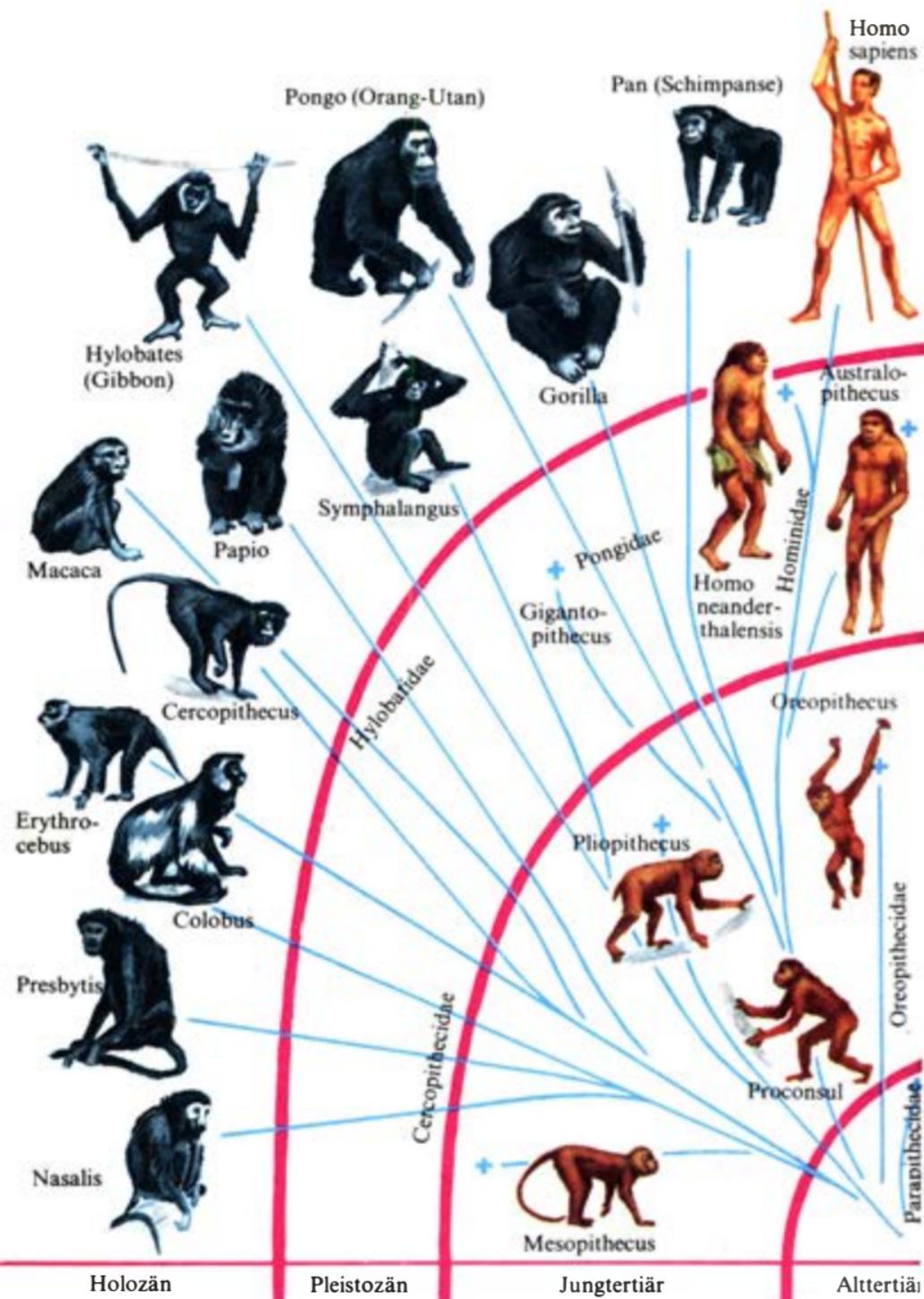
Das Auftreten des Menschen als biosoziales Wesen in der Erdgeschichte leitet einen neuen, bedeutenden Abschnitt in der Entwicklung der Organismen ein. Als bewußter Gestalter seiner Umwelt durch seine Arbeit mit Hilfe der von ihm erfundenen, geschaffenen und weiterentwickelten Werkzeuge wirkten er und seine Vorläufer schon frühzeitig auf die Umgestaltung der Natur ein.

*Säugetiere des Jungpleistozäns (Kaltfauna und Steppenfauna) in Europa. Sämtliche Tierformen im gleichen Größenverhältnis (verändert nach Thenius)*

Der Mensch gehört als höchstentwickelter Organismus zu den Primaten oder Herrentieren, zu denen die heutigen und die fossilen Menschen – zu Hominiden oder Menschstämmlingen bzw. Menschenartigen zusammengefaßt –

Der Stammbaum der höheren Primaten (Herrentiere), speziell der Hominiden (Menschenartigen, Menschstämmlinge) (ergänzt nach Heberer). Abkürzungen: Prp – Propliopithecus, Pap – Parapithecus, Ap – Apidium, AM – Ancient Member, Ae – Aegyptopithecus, Pro – Proconsul, Siv – Sivapithecus, Dry – Dryopithecus, Gi – Gigantopithecus, Ra – Kenyapithecus (Ramapithecus), Or – Oreopithecus, TMÜ – Tier-Mensch-Übergangsfeld, Hä – Hominidenähnliche, Au – Australopithecus, Hab – Habilinen, M – Mauer, Pi-Si – Pithecanthropus und Sinanthropus (= Homo erectus, Körpermerkmale: flacher Schädel, abgeknicktes Hinterhaupt, mächtiger Überaugenwulst), Rh – Homo erectus rhodesiensis, Ng – Homo erectus soloensis, Bl – Fund von Bilzingsleben bei Artern (DDR), Homo erectus, Alter 350 000 Jahre (Holsteinwarmzeit), St – Steinheim (Homo sapiens steinheimensis), Sw – Swanscombe (Homo sapiens steinheimensis), Pn – Homo sapiens praeneanderthalensis, N – Homo sapiens neanderthalensis, Cr – Homo sapiens sapiens bzw. fossilis (Cro-Magnon)





Die vermutlichen stammesgeschichtlichen Beziehungen innerhalb der Altweltaffen (nach Thenius)

gezählt werden. Oft hört man in Kreisen der Laien, daß der Mensch vom Affen abstamme – in Wirklichkeit haben beide nur gemeinsame Ahnen.

Drei große Entwicklungsstufen des Menschengeschlechts sind auf dem Wege der Menschwerdung von ihren Anfängen im oberen Pliozän, der obersten Stufe des Jungtertiärs, vor 5 bis 4,5 Millionen Jahren bis zur Gegenwart zu beobachten: die Früh-, Ur- oder Vormenschen, die Altmenschen oder Neandertaler und die Jetztmenschen, das heißt die Gruppe des *Homo sapiens*.

Neue Urmenschenfunde haben im Jahre 1970 ergeben, daß man heute bereits vier Millionen Jahre der Menschheitsgeschichte kennt. Diese für die Menschheitsgeschichte so aufsehenerregenden Funde stammen aus Ostafrika: Der bisher älteste Urmenschenschädel wurde am Omo-Fluß in Südäthiopien ausgegraben. Bei Koobi Fora (Tansania) fand man einen Unterkiefer mit typisch hominiden Merkmalen sowie Gliedmaßenknochen, die mehr als eine Million Jahre alt sind – älter also als der Javamensch. Gliedmaßenreste haben besondere Bedeutung für die Beurteilung des Ganges dieser Vormenschen, denn die Affen blieben baumbewohnende Lebewesen, während der Mensch zum aufrechtgehenden, landbewohnenden Zweifüßer wurde. Mit diesem Fund wurde in der Entwicklungsgeschichte des Menschen eine Lücke von etwa 10 Millionen Jahren eingeengt, die zwischen den primitiven Vormenschenresten aus Asien und den ersten wirklich menschlich anmutenden Fossilien aus Afrika klaffte. Aus diesen neuen Funden schließt man, daß Hominiden und Australopithecinen sich – ausgehend von einer gemeinsamen Urform – lange Zeit parallel nebeneinander entwickelt haben.

Die primitivsten menschenähnlichen Wesen, Zwischenglieder zwischen Affen und Menschen, auch Halb- oder Vormenschen genannt, sind die Australopithecinen oder »Südaffen« aus den süd- und ostafrikanischen Halbwüsten, z. B. die Funde vom Rudolfsee (Kenia), aus der Oldoway-Schlucht (Tansania) und von Swartkrans (Transvaal, Republik Südafrika).

Gleichzeitig mit den jüngsten Halbmenschen lebten die bisher als die ältesten Formen angesehenen Urmenschen

während des Altpleistozäns. Sie waren in Südost- und Südasien weitverbreitet. Bei ihnen war die körperliche Entwicklung zum Menschen im wesentlichen abgeschlossen, z. B. bei *Pithecanthropus* auf Java und bei *Sinanthropus* in China. Zweckgebunden hergestellte Steingeräte deuten neben dem aufrechten Gang auf diesen Abschluß der Menschwerdung hin. Der erste Fund des Urmenschen *Homo erectus* zusammen mit seinen Werkzeugen, z. B. schön bearbeiteten Äxten und Kratzern, stammt aus der Oldoway-Schlucht in Tansania. Sensationelle Urmenschenfunde lieferte 1974 die Altsteinzeit-Grabungsstätte Bilzingsleben bei Artern (DDR).

Die Neandertaler-Gruppe mit den »Praeneandertalern« und den Neandertal-Menschen aus dem Mittel- bis Jungpleistozän umfaßt Menschenformen, die unbedenklich zur Gattung *Homo* zu stellen sind. Ihr Schädel weist jedoch noch einige urtümliche Merkmale, wie die fliehende Stirn, starke Überaugenbögen und ein gerundetes

*Bedeutende Fundstellen von Hominiden: Kenyapithecus (Rampithecus), von 14–12 Mio. Jahren: 1 – Fort Ternan, 2 – Siwalik-Berge,*

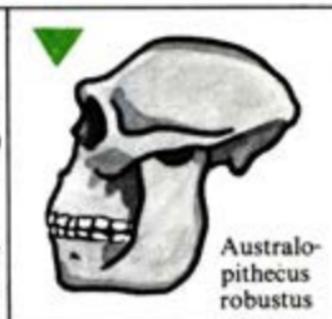
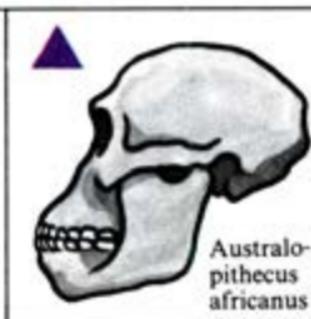
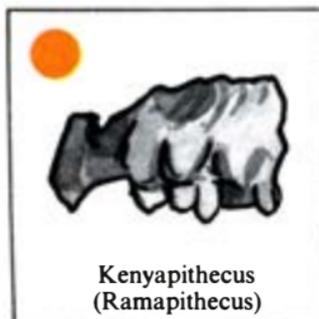
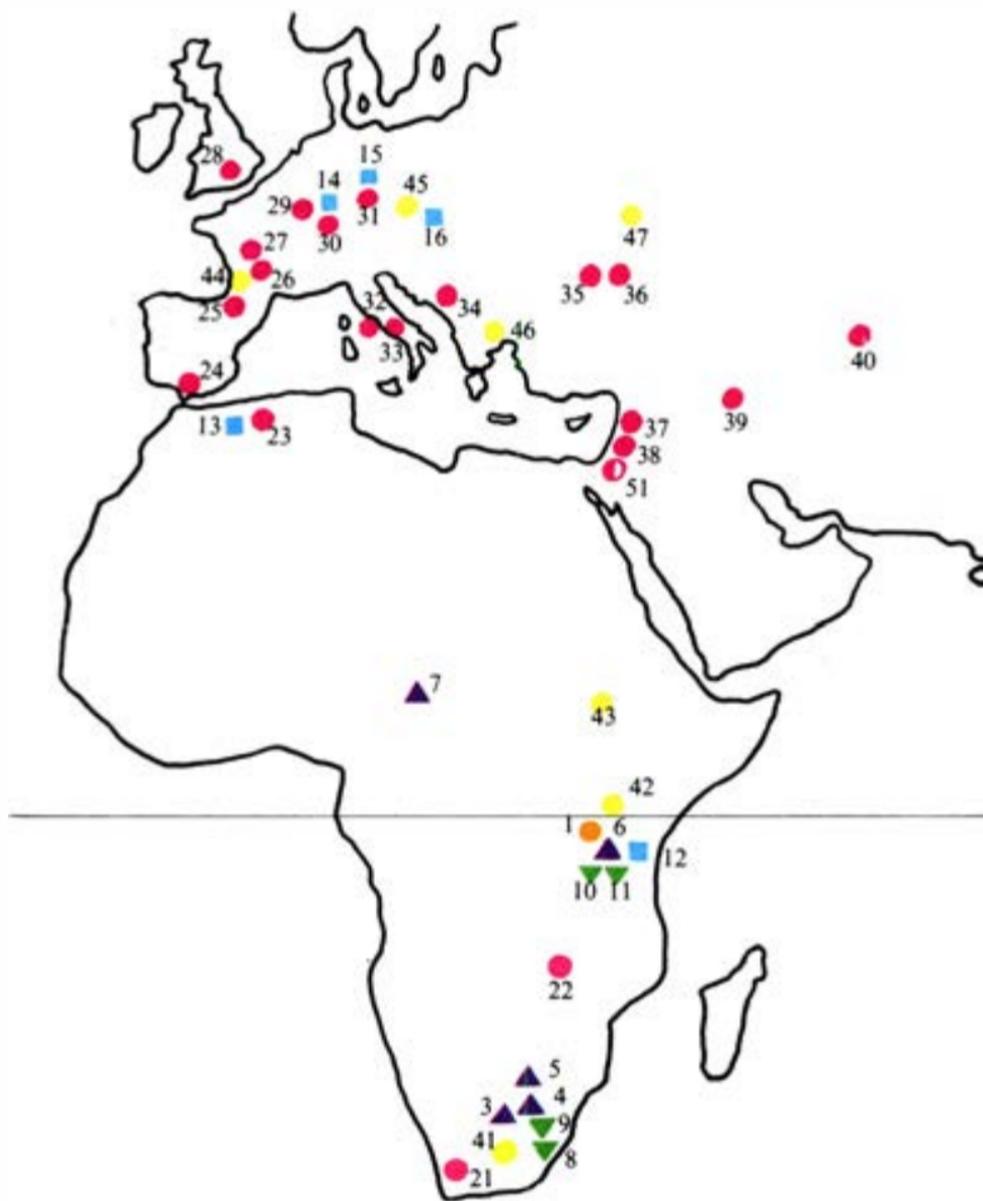
*Australopithecus africanus (graziler Typ), von 3 Mio. Jahren–700 000 Jahren: 3 – Taung, 4 – Sterkfontein, 5 – Magapansgat, 6 – Olduvai, 7 – Yayo/Tschad,*

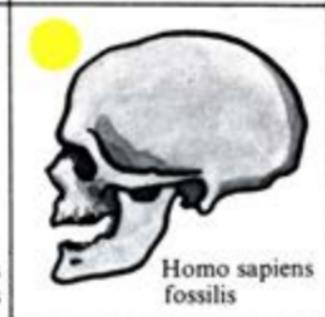
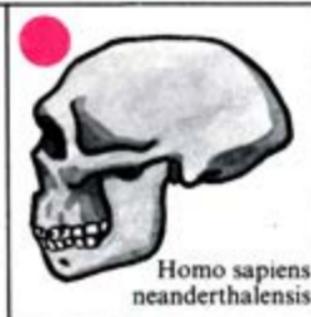
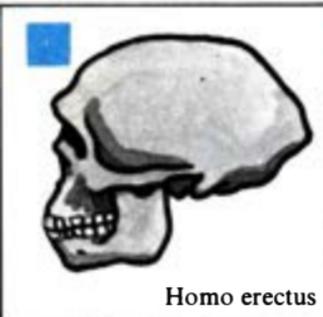
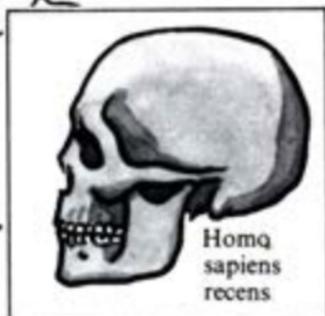
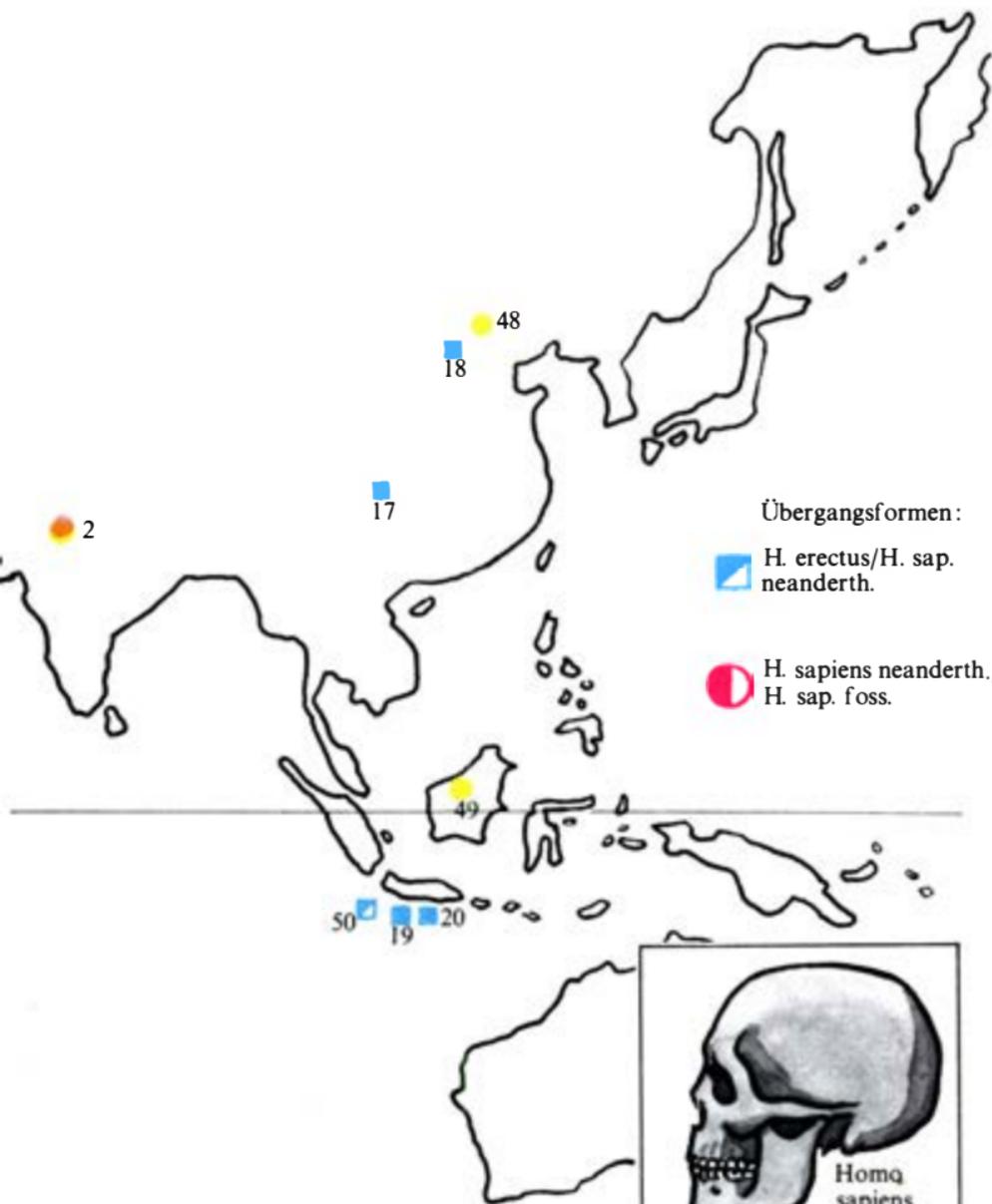
*Australopithecus robustus (derber Typ), von 1,8 Mio.–400 000 Jahren: 8 – Swartkrans, 9 – Kromdraai, 10 – Peninj, 11 – Olduvai, Homo erectus (früher Urmensch), von 800 000–250 000 v. u. Z., 12 – Olduvai, 13 – Ternifine, 14 – Mauer, 15 – Bilzingsleben, 16 – Vertesszöllös, 17 – Čhen-Chia-Wo, 18 – Chou-Kou-Thien, 19 – Trinil, 20 – Modjokerto,*

*Homo sapiens neanderthalensis (später Urmensch) von 250 000 bis 50 000 v. u. Z.: 21 – Hopefield, 22 – Broken Hill, 23 – Hauer Fteah, 24 – Gibraltar, 25 – Montmaurin, 26 – La Quina, 27 – La Chapelle, 28 – Swanscombe, 29 – Neanderthal, 30 – Steinheim, 31 – Ehringsdorf, 32 – Saccopastore, 33 – Circeo, 34 – Krapina, 35 – Staroselje, 36 – Kiik Koba, 37 – Tabgha, 38 – Djebel Kafzeh, 39 – Shanidar, 40 – Teschik-Tasch,*

*Homo sapiens fossilis (Mensch der Gegenwart): 41 – Florisbad, 42 – Kanjera, 43 – Singa, 44 – Cro-Magnon, 45 – Předmost, 46 – Petralona, 47 – Kostjenki, 48 – Chou-Kou-Thien, 49 – Niah-Höhle,*

*Übergangsformen: 50 – Sangiran, 51 – Carmal Amud (verändert nach Padberg)*





Kinn, auf. Der namengebende klassische Fund wurde von J. C. Fuhlrott 1856 in der Feldhofer Höhle im Neandertal zwischen Düsseldorf und Elberfeld (BRD) geborgen. Er besteht aus einem Schädeldach sowie Oberarm- und Oberschenkelknochen. Bis in die Gegenwart wurden weitere gut erhaltene Schädelfunde des Neandertalers aus Europa und Vorderasien bekannt, meist sind es wieder Höhlenfunde.

Aus den Funden der *Praesapiens*-Gruppe, zu der die des Steinheim-Menschen (BRD) und des Swanscombe-Menschen (England) gehören, ist zu schließen, daß die Entwicklung zum Altmenschen schon sehr frühzeitig eingesetzt haben muß. Das würde bedeuten, daß es in Europa bereits zur Zeit des asiatischen *Sinanthropus* offenbar Menschen gab, die sich deutlich in Richtung auf den heutigen Menschen entwickelten.

Der »moderne« Mensch oder Altmensch (*Homo sapiens sapiens*) der *Sapiens*-Gruppe erschien erst während und am Ende der letzten Kaltzeit vor etwa 40 000 Jahren, vermutlich von Asien her. Vorformen (*Praesapiens*-Gruppe) fanden sich jedoch schon in der letzten Warmzeit. Vom heutigen Menschen unterschied er sich nur durch eine rassenmäßige Typenvielfalt. So kennen wir z. B. die Rassen von Grimaldi, Cromagnon und Brünn. Aus allen Erdteilen sind solche Funde bekannt, die meisten aus Europa: aus Spanien, Frankreich, Italien und der Sowjetunion. Die künstlerischen Hinterlassenschaften dieser Menschen, wie farbige Felsmalereien und Plastiken, sind oft von hoher Vollendung und kennzeichnen den Menschen als die Krönung in der Entwicklung der Organismenwelt der Erde.

»akzent« – die Taschenbuchreihe  
mit vielseitiger Thematik:  
Mensch und Gesellschaft,  
Leben und Umwelt, Naturwissenschaft  
und Technik: – Lebendiges Wissen  
für jedermann, anregend und aktuell,  
konkret und bildhaft.

---

**Weitere Bände:**

Günther, Gebaute Umwelt

Kéki, 5000 Jahre Schrift

Winde/Knoll, Schlagadern  
des Seeverkehrs

Windelband, Woher der Mensch kam

Dorschner, Planeten –

Geschwister der Erde?

Ritzhaupt u. a., Nahrung aus dem Meer

Kurze, Leichter als Luft