

Museum für Naturkunde Magdeburg

Informationsmaterialien zur Dauerausstellung
für LehrerInnen und Interessierte

Evolution und Artenvielfalt im Verlauf der Erdgeschichte

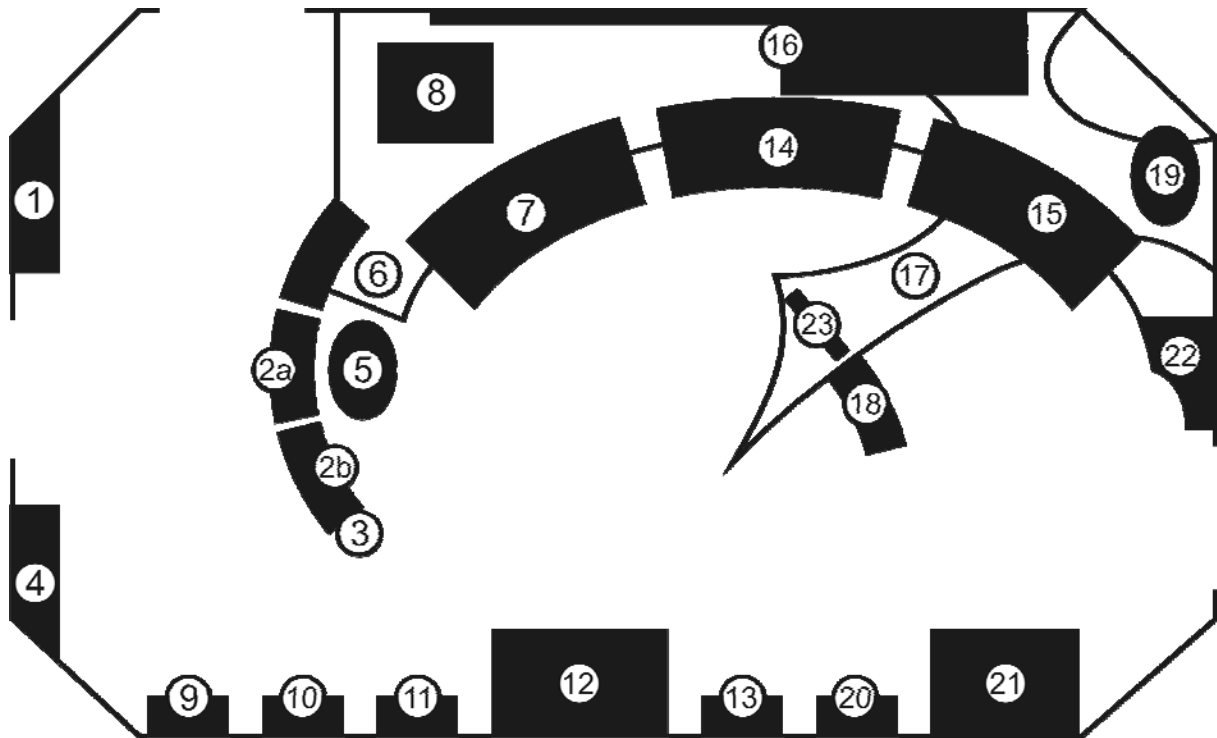
*→ Nummerierung: Vitrinen und Großobjekte;
einzelne Ausstellungsobjekte sind mit (■) gekennzeichnet*

Autoren: Michael Buchwitz und Hans Pellmann

Datum der Veröffentlichung (1. Version): 2. Juli 2012

Copyright: CC-BY-SA (Definition gemäß Version 3.0)

Raumplan R 213 (Fossiliensaal)



1. Erde in Bewegung: Falten, Klüfte, Bruchgefüge in Gesteinen
- 2.a Gruppen der Gesteine: Magmatite, Metamorphite, Sedimentgesteine
- 2.b Rückseite: von Lebewesen gebildete (= biogene) Sedimentgesteine
3. Basalt-Säulen: Abkühlungsgefüge im Vulkangestein
4. Entstehung eines Fossils: vom Tod bis zur Freilegung
5. Modell der "Ursuppe", in der das irdische Leben entstand
6. Stromatolith: von Cyanobakterien gebildeter Kalkstein
7. Vielfalt im Wasser
8. Riesenammoniten der Kreidezeit
9. Schwämme und Korallen
10. Trilobiten
11. Stachelhäuter
12. Gebiss des Hais Megalodon und Muschelschalen-Schicht
13. Kopffüßer
14. Platte mit Ursaurier-Fährten
15. Vielfalt an Land
16. Fische und Meereskrokodil
17. Skelettguss des Dinosauriers *Plateosaurus*
18. *Plateosaurus*-Knochenfunde aus Halberstadt
19. Laufvogel *Diatryma* und Urvogel *Archaeopteryx*
20. Landpflanzen
21. Blätterplatte des kreidezeitlichen Waldes von Quedlinburg
22. Mikrofossilien unter dem Mikroskop
23. Holoprogramm: Geschichte der Erde

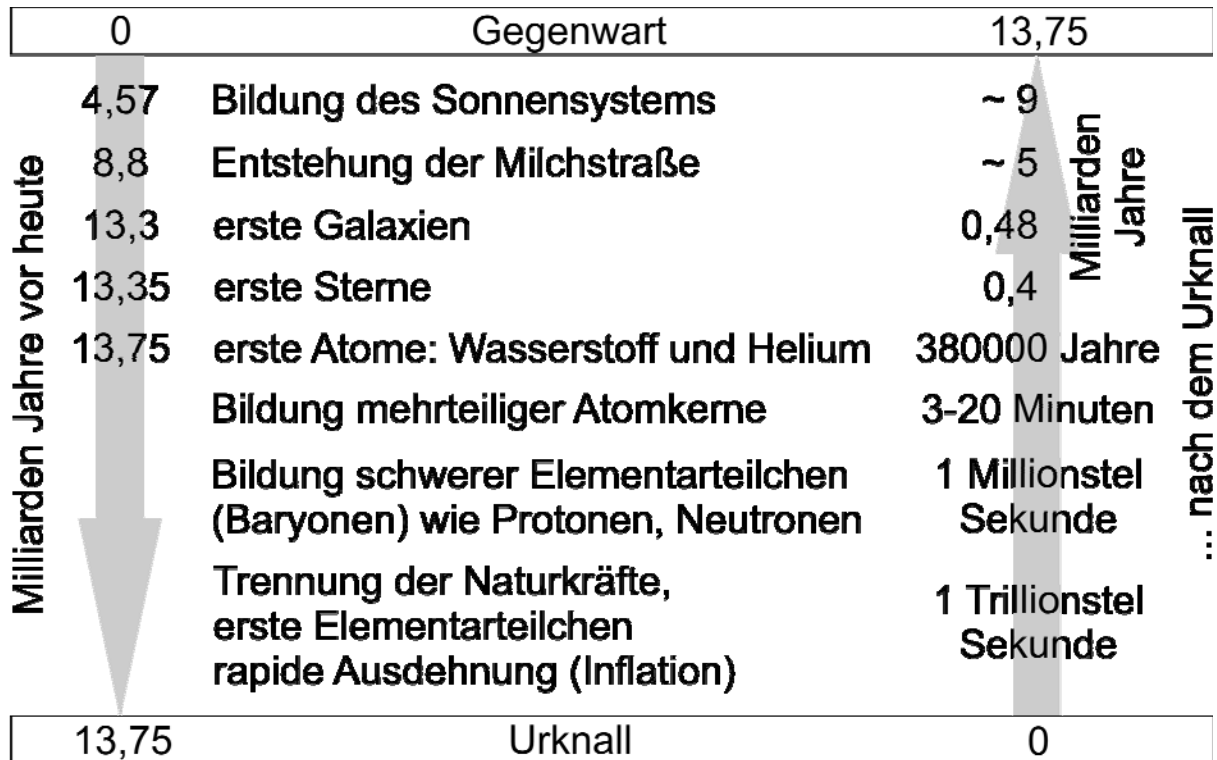
Inhaltsverzeichnis

Entstehung des Sonnensystems und der Erde	4
Aufbau der Erde und Plattentektonik.....	5
Die Gesteine der Erde	6
Fossilien: Zeugen früheren Lebens	7
Geschichte des irdischen Lebens.....	9
Evolution und Artenvielfalt im Wasser	12
Ursprung und Entfaltung der Tiere	12
Schwämme und Korallen: niedere Tiere als Riffbildner.....	12
Trilobiten: die „Asseln“ des Erdaltertums	14
Stachelhäuter: Seeigel, Seestern & Co.....	14
Kopffüßer: Die Tintenfische und ihre Verwandten.....	15
Ursprung und Entfaltung der Fische	16
Die Evolution der Haie	17
Landgang der Pflanzen und Tiere	18
Evolution und Artenvielfalt an Land	20
Die Stammesgeschichte der Landwirbeltiere	20
Vom Land zurück ins Wasser	20
Der deutsche Dinosaurier Plateosaurus.....	22
Die Entstehung des Flugs bei Tieren	23
Evolution der Landpflanzen.....	23
Literaturhinweise	25

Entstehung des Sonnensystems und der Erde

→ *Vorraum zum Fossilienaal*

Im Vergleich zum Alter des Weltalls ist unser Sonnensystem jung:



Etwa 4,6 Milliarden Jahren vor der Gegenwart und etwa 9 Milliarden Jahre nach der Entstehung der ersten Elementarteilchen und Atome bildete sich am Rand der **Milchstraße** unser **Sonnensystem** aus einer **Materiewolke**, die sich aufgrund der gegenseitigen Masseanziehung der einzelnen Teilchen in der Wolke verdichtete. Dabei entstand ein **Protostern** im Zentrum einer flachen rotierenden **protoplanetaren Scheibe**.

In dieser Scheibe bildeten sich wiederum durch gegenseitige Anziehung und Kollision von Teilchen und kleinerer Materiekörper zunächst **Planetesimale** (Planetenvorläufer), die sich schließlich zur größeren Objekten, den **Planeten**, zusammenballten.

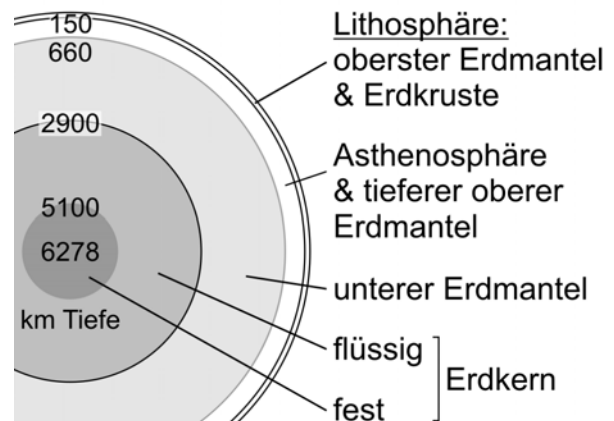
Da nicht die gesamte Materie von der Sonne und den Planeten angezogen wurde, verblieb ein Rest, aus dem sich kleinere Himmelskörper wie **Asteroiden** und **Kometen** bildeten.

Nähern sich Asteroiden der Erde, können sie aufgrund der Gravitation von der Erde eingefangen werden und als **Meteoriten** auf die Erdoberfläche fallen. Nach ihrer Zusammensetzung unterscheidet man Stein-, Stein-Eisen- und Eisenmeteorite (■).

Aufbau der Erde und Plattentektonik

Aufgrund geophysikalischer Messungen ist der Aufbau der Erde sehr gut bekannt:

Der **Erdkern** ist von hoher Dichte und besteht vor allem aus Eisen und Nickel. Der feste **innere Erdkern** wird vom flüssigen **äußeren Erdkern** umschlossen, dessen Strömungen das **Erdmagnetfeld** verursachen.



Der **Erdmantel** besteht aus Gestein. Infolge eines Anteils an Gesteinsschmelze (**Magma**) verhält sich die **Asthenosphäre**, eine Zone im oberen Erdmantel, nicht starr, sondern zeigt ein zähplastisches Fließen.

Die darüber liegende **Gesteinshülle (Lithosphäre)** besteht aus **Platten**, die sich aufgrund von Strömungen in der Asthenosphäre zueinander bewegen, ein Vorgang, den man als **Plattentektonik** bezeichnet.

Geologische Vorgänge an Plattengrenzen

An **mittelozeanischen Rücken** wie dem in der Mitte des Atlantiks bewegen sich zwei Platten auseinander und infolge des Magmenaufstiegs aus der Tiefe bildet sich dort neue ozeanische Lithosphäre. Vorläufer der mittelozeanischen Rücken sind **kontinentale Grabensysteme** wie das Ostafrikanische Grabensystem.

In **Subduktionszonen** taucht eine ozeanische Platte unter eine andere Platte ab, wodurch wiederum die Bildung und der Aufstieg von Magma verursacht werden. Bewegen sich kontinentale Platten aufeinander zu, dann kommt es zur **Kollision** und es entstehen **Faltengebirge** wie die Alpen und der Himalaya.

An **Transformstörungen** wie der San-Andreas-Verwerfung gleiten zwei Platten aneinander vorbei, wobei es infolge ihrer Verzahnung häufig zu Erdbeben kommt.

Durch die Plattenbewegungen änderten sich im Verlauf der Erdgeschichte Form und Verteilung der Kontinente und Ozeane sowie die Gestalt der Gebirge, Tiefländer, Flüsse, Seen und Ozeanböden. „Superkontinente“ wie **Pangäa** entstanden und vergingen.

Die Gesteine der Erde

→ Nr. 1 bis 3

Magmatische Gesteine

Gesteinsschmelzen (**Magmen**) bilden sich entweder in der tieferen **Erdkruste** (äußerer Teil der Lithosphäre) oder noch tiefer im **Erdmantel** infolge hoher Wärmezufuhr, Zufuhr von H₂O oder Druckentlastung. Das Magma erstarrt entweder in der mittleren oder oberen Erdkruste und bildet dabei ein **Tiefengestein** (plutonisches Gestein) wie z.B. Granit oder Gabbro oder es steigt weiter auf.

Durch Entgasung bildet sich aus dem Magma eine **Lava**, die an der Erdoberfläche ausfließt, oder es wird explosiv gefördert und setzt sich als **Tephra** (pyroklastisches Gestein) ab. Tephren und erstarrte Laven sind **vulkanische Gesteine**.

Sedimentgesteine

Magmatische oder andere Gesteine **verwittern** an der Erdoberfläche unter Einfluss von Temperatur, Niederschlag und Lebewesen, werden **abgetragen** und durch Eis, Wasser oder Wind wegtransportiert. Beim **Transport** werden Gesteinsbruchstücke bis zu ihrer **Ablagerung (Sedimentation)** weiter zerkleinert und gerundet. Nach Überlagerung mit weiterem Gesteinsschutt **verfestigen** sich lockere Sedimente zu Sedimentgesteinen wie Sandstein und Tonstein.

Andere Sedimentgesteine wie Kalkstein, Gips und Salzgesteine bilden sich durch **Ausfällung** im Wasser gelöster Minerale. Oft sind Lebewesen an der Bildung beteiligt und ihre Skelettreste sind als **Fossilien** (S. 6-7) in Sedimentgesteinen erhalten.

Metamorphe Gesteine

Gesteine können sie sich unter Einfluss von hohem Druck und/oder hoher Temperatur chemisch umwandeln. Aus **Mineralen** (festen kristallinen Bestandteilen) des Gesteins entstehen dabei neue Minerale, **ohne** dass sich eine Schmelze bildet. Ergebnis der Umwandlung (**Metamorphose**) ist ein metamorphes Gestein.

Man unterscheidet die Umwandlung aufgrund des Kontakts zu einer heißen Schmelze (**Kontaktmetamorphose**) von der Umwandlung aufgrund tektonisch bedingter Versenkung eines Gesteins in große Tiefen (**Regionalmetamorphose**).

Fossilien: Zeugen früheren Lebens

→ Nr. 4

Die Kenntnis über den Aufbau, die Funktions- und Lebensweise ausgestorbener Lebewesen und über frühere Ökosysteme beruht auf Überresten und Spuren, die in Ablagerungsgesteinen gefunden wurden. Diese bezeichnet man auch **Fossilien** (von Latein *fossilis* = ausgegraben). Die Erforschung der Fossilien mit dem Ziel, das frühere Leben auf der Erde zu verstehen, ist Gegenstand der **Paläontologie**.

Die Entstehung eines Fossils beginnt mit dem **Tod eines Lebewesens** (■). Die Verwesung des toten Tierkörpers kann wie bei einer **Mumie** (■) durch Austrocknung oder Sauerstoffabschluss unter Schlamm verhindert sein, so dass ein Teil der organischen Körpersubstanz erhalten bleibt.

Oftmals wird der Leib völlig zersetzt und es bleibt nur das mineralische **Innen- oder Außenskelett** eines Tiers (■), z. B. Knochen oder Muschelschale, erhalten. Mit der zunehmenden Bildung von Skeletten und anderen Hartgeweben aus Substanzen wie Kalziumkarbonat und Kalziumphosphat stieg vor etwa 542 bis 520 Millionen Jahren die Überlieferungshäufigkeit von Fossilien sprunghaft an und das „Zeitalter des sichtbaren Lebens“ (Phanerozoikum) begann.

Versteinerungen entstehen, wenn mineralhaltige Wässer in den Körperrest eindringen und Mineralien frühere Teile des lebenden Gewebes ersetzen und/ oder Hohlräume im Inneren eines Skeletts ausfüllen.

Wird auch die Skelettsubstanz abgebaut oder weggelöst, können zumindest die äußere Form des Skeletts als **Abdruck** oder der mit verfestigtem Schlamm verfüllte Hohlraum als **Steinkern** erhalten bleiben. Falls das Fossil gefunden wird, kann es geborgen und präpariert werden.

Mikrofossilien

→ Nr. 22

Fossilien sind auch eine wichtige Informationsquelle der Geowissenschaftler: Manche erlauben die zeitliche Einordnung eines Gesteins (**Leitfossilien**), andere ermöglichen Aussagen zum Bildungsraum (**Faziesfossilien**).

Wird bei der Suche nach fossilen Energieträgern wie Erdöl und Erdgas gebohrt, dann sind die geförderten Probenmengen sehr klein. Bereits aus einer wenige Gramm

schweren Gesteinsprobe kann man unter dem Stereomikroskop oft tausende **Mikrofossilien** auslesen. Dazu gehören unter anderem Gehäuse von Einzellern wie Kieselalgen, Radiolarien und Foraminiferen (■), Mundwerkzeuge fischartiger Tiere (Conodonten, ■); Haifischzähne (■) und Muschelkrebse (Ostracoden, ■).

Licht- und Elektronenmikroskope werden aber auch zur Erforschung von Insekteneinschlüssen in Bernstein (Inklusen, ■) und größerer Fossilien eingesetzt.

Ablagerungsgesteine, die von Lebewesen gebildet werden

→ Nr. 2b und 6

Viele Lebewesen sind **Gesteinsbildner**. Die von ihnen gebildeten anorganischen und organischen Stoffe können zu großen Anteilen in **biogenen Ablagerungsgesteinen** vorkommen.

Die ältesten Gesteinsbildner sind **Cyanobakterien**. Sie überzogen den Meeresboden in den flachen lichtdurchfluteten Bereichen der Urozeane und schieden Kalziumkarbonat (CaCO_3) ab. Die Karbonatpartikel blieben im Bakterienrasen haften und bildeten nach und nach **Stromatolith**, einen lagigen Kalkstein (■).

Spätere **biogene Kalksteine** entstanden aus den Skelettresten der Kalkalgen, Foraminiferen, Schwämme, Korallen, Weichtiere (u. a. Muscheln, Schnecken), Stachelhäuter (u. a. Seelilien), Armfüßer und Moostiere. **Schreibkreide** (■) besteht aus Skelettplatten (Coccolithen) einzelliger Kalkalgen; **Trochitenkalk** (■) aus Seelilien-Stielgliedern. Die Kalkschlämme der heutigen Tiefsee bestehen vor allem aus den Gehäusen von **Foraminiferen**. Zu dieser Einzeller-Gruppe gehören auch die **Nummuliten** (■).

Kohle ist ein brennbares biogenes Gestein, das aus der Umwandlung von Holz und anderen organischen Pflanzenresten hervorgegangen ist. Es bildet sich zunächst der unverfestigte **Torf**. Bei Überlagerung und Versenkung der Torfschicht nimmt unter Druck- und Temperaturerhöhung der Anteil des Kohlenstoffs zuungunsten leichtflüchtiger Elemente immer weiter zu. Es bilden sich nacheinander **Braunkohle**, **Steinkohle** (■), **Anthrazit** und **Graphit**.

Geschichte des irdischen Lebens

→ Nr. 5, 23

Zum Ende des **Hadaikums** vor etwa 4 Milliarden Jahren war die Erdkruste so weit abgekühlt, dass Wasser als Flüssigkeit an der Erdoberfläche vorlag und sich ein Urozean bildete. Dort fand wahrscheinlich die **Entstehung des Lebens** aus unbelebten organischen Verbindungen statt. Aus den Vorläufern der DNA und der Eiweiße sowie einer umhüllenden organischen Doppelmembran entstanden **die ersten Zellen**, die durch Zellteilung eine Kopie von sich selbst erschaffen konnten.

Im **Archaikum**, der Erdurzeit, traten mit den **Cyanobakterien** die ersten Organismen auf, die sich das Sonnenlicht zunutze machten. Sie wandelten in der **Fotosynthese** Lichtenergie um und speicherten sie in neu gebildeten organischen Stoffen, wobei Sauerstoff freigesetzt wurde. Cyanobakterien bildeten großflächige Biomatten, die Kalk abschieden).

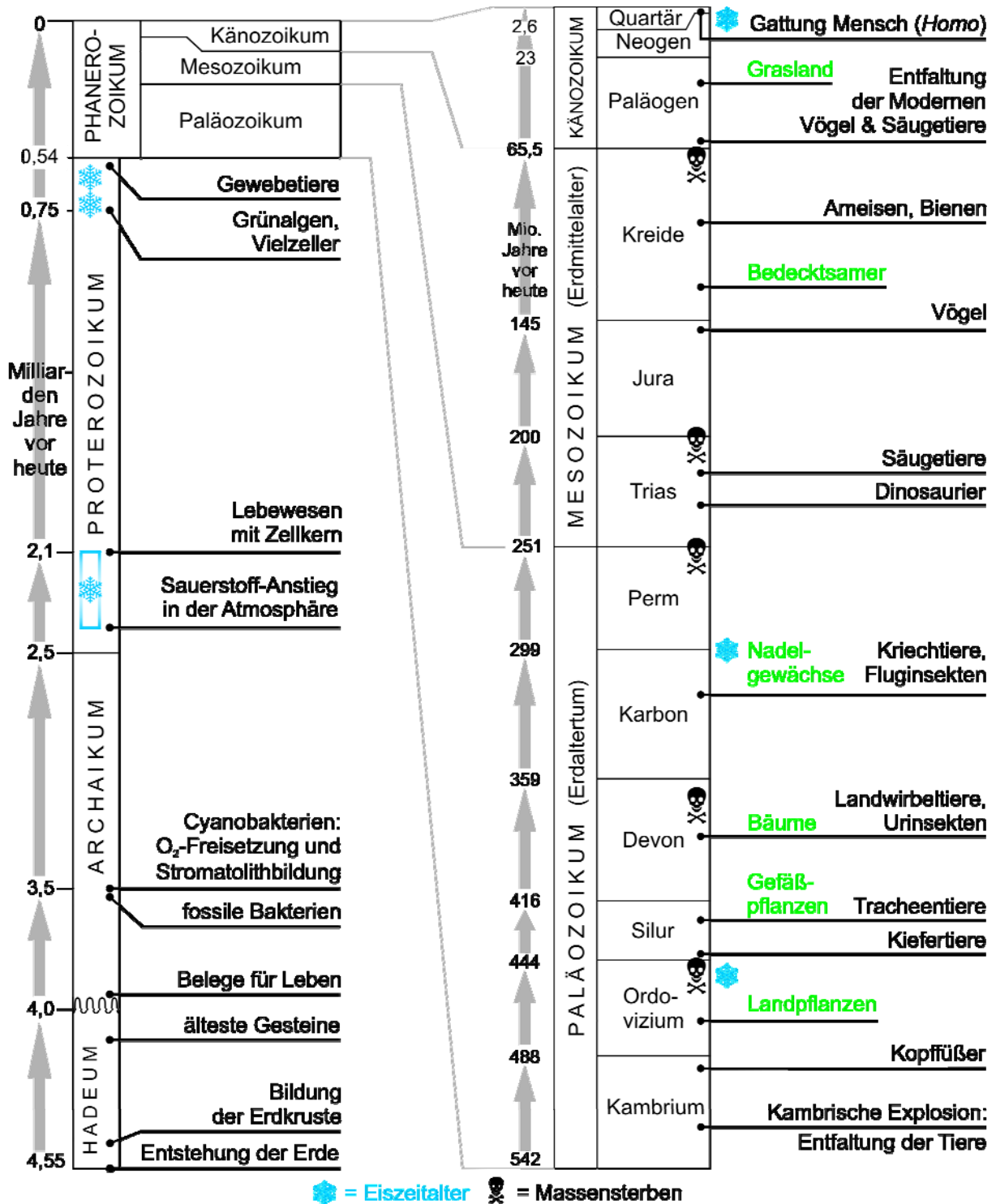
Im **Proterozoikum**, dem Zeitalter des frühen Lebens, nahm die Sauerstoff-Freisetzung durch Cyanobakterien so stark zu, dass alles Eisen an der Erdoberfläche in rotes Eisenoxid oder gelbes Eisenhydroxid umgewandelt wurde und es entstanden große Eisenerzvorkommen (**Bändereisenerze**). Der überschüssige Sauerstoff reicherte sich in der Atmosphäre an.

Eukaryonten, die im Unterschied zu den einfacher gebauten Bakterien und Archaeen einen **Zellkern** und weitere **Organellen** wie Chloroplasten (zur Photosynthese) und Mitochondrien (zur Atmung) besitzen, traten im Proterozoikum erstmals auf. Sie entstanden, als ein großer Einzeller kleinere Bakterien fraß, diese jedoch nicht verdaute und sie in der Folge Bestandteil der Zelle wurden (Endosymbionten-Hypothese).

Im späten Proterozoikum kam es zu mehreren Vereisungen von denen manche die gesamte Erde umfassten ("**Schneeball Erde**"). In dieser Zeit entstanden aus den ersten Eukaryonten drei Gruppen, die unabhängig voneinander vielzellige Lebewesen hervorbrachten: **Grünalgen**, **Pilze** und **Tiere** (zuerst Schwämme, S. 12).

Im **Phanerozoikum**, dem Zeitalter des sichtbaren Lebens, kam es zur Entfaltung der vielzelligen Lebewesen. Im Verlauf der **Kambrischen Explosion** entwickelten sich alle heutigen Tierstämme und es kam zu einer erheblichen Zunahme der Artenzahl und Vielgestaltigkeit der Meerestiere (S. 12-17). Große Räuber sowie Tiere mit schützenden Außenskeletten traten erstmals auf, darunter **Trilobiten** (S. 14), **Stachelhäuter** (S. 14-15) und **Kopffüßer** (S. 15). Das Auftreten der **kieferlosen**

Fische war ein weiterer wichtiger Evolutionsschritt (S. 15). Aus ihnen entwickelten sich Fische mit bezahnten Kiefern, darunter **Knorpelfische** (S. 16) und **Knochenfische**.



Zeitskala zur Geschichte der Erde und des Lebens. Die letzten 542 Millionen Jahre sind auf der rechten Seite vergrößert dargestellt. Wichtige Neuigkeiten wie das Erstauftreten bestimmter Organismengruppen sind mit Punkten gekennzeichnet.

Im Ordovizium begann der **Landgang der Vielzeller** (S. 19), als aus den Grünalgen die **Landpflanzen** (S. 23) hervorgingen. Im Silur traten mit den Tausendfüßern die ersten **Landtiere** auf, gefolgt von **Insekten** und **Landwirbeltieren** (S. 20) im Devon. Manche Landtiere erwarben die Fähigkeit zum Flug (S. 23), andere kehrten ins Wasser zurück (S. 20).

Massenaussterben: Motor der Evolution

Gegenüber dem alltäglichen Aussterben einzelner Arten, wie es im Verlauf Erdgeschichte immer vorkam, sind in mehreren **Massenaussterben** in kurzer Zeit besonders viele Arten ausgestorben. Oftmals starben viele Vertreter alter dominanter Gruppen aus, so dass in der **Erholungsphase** konkurrierende Gruppen die frei werdenden "Rollen" im Ökosystem neu besetzten.

Im **späten Ordovizium** wurden durch die Inlandvereisung am Südpol (Hirnantian-Vereisung) und die damit verbundenen Meeresspiegeländerungen viele Gruppen der wirbellosen Meerestiere reduziert.

Dem Massensterben im **späten Devon** fielen die artenreichen Ökosysteme der Korallen- und Stromatoporenriffe zum Opfer und erst im Mesozoikum erreichten die Meerestiere wieder eine ähnliche Artenvielfalt.

Das bedeutendste Massensterben ereignete sich zum **Ende des Perms**. Sowohl Landbewohner als auch viele Meeresbewohner wie die Trilobiten erloschen. In der nachfolgenden Trias traten Echte Knochenfische, viele Gruppen der Meeresreptilien, Schildkröten, Krokodile, Dinosaurier, Schuppenechsen und Säugetiere erstmals auf.

Zum **Ende der Trias** starben einige frühe Gruppen der Landtiere aus, während die Dinosaurier in ihrer Anzahl und Formenvielfalt zunahmen.

Mit der Ausbreitung der Blütenpflanzen und Vögel waren die Landökosysteme denen von heute schon ähnlich, bevor das Massensterben am **Ende der Kreidezeit** die Dinosaurier auslöschte und derart der Entfaltung der Säugetiere Raum bot.

Zum **Ende der letzten Kaltzeit** vor etwa 12.000 bis 10.000 Jahren starben viele große Tiere des Eiszeitalters aus, womöglich unter Mitwirkung des sich ausbreitenden Modernen Menschen. Aus Sicht nachfolgender Erdzeitalter wird die gegenwärtige Ausrottung vieler Arten in kürzester Zeit infolge des steigenden Raum- und Ressourcenbedarfs des Menschen wohl als Massensterben wahrnehmbar sein.

Evolution und Artenvielfalt im Wasser

→ Nr. 7 bis 13

Ursprung und Entfaltung der Tiere

Der Entstehung des Lebens und der ersten Zellen mit Zellkern folgte im späten Proterozoikum die Evolution **viellelliger Lebewesen**, wobei man sich Vielzeller als Zusammenschlüsse vieler Einzeller vorstellen kann. Die nächsten lebenden Verwandten der Tiere sind die **Kragengeißeltierchen**. Sie gleichen auffällig den Kragengeißelzellen, die den Innenraum der urtümlichsten Tiere, der **Schwämme**, auskleiden und dort den Einstrom von Wasser und Nahrungspartikeln bewirken.

Seit etwa 600 Millionen Jahren sind **Tiere mit echten Geweben**, in denen spezialisierte Zellen unflexibel miteinander verbunden sind, fossil belegt. Dazu gehören die **Nesseltiere** mit den **Korallen** als bedeutendster Fossilgruppe. Zu gleicher Zeit treten in der **Ediacara-Fauna** die ersten Gewebetiere mit spiegelsymmetrischer linker und rechter Körperhälfte (Zweiseitentiere, Bilateria) auf.

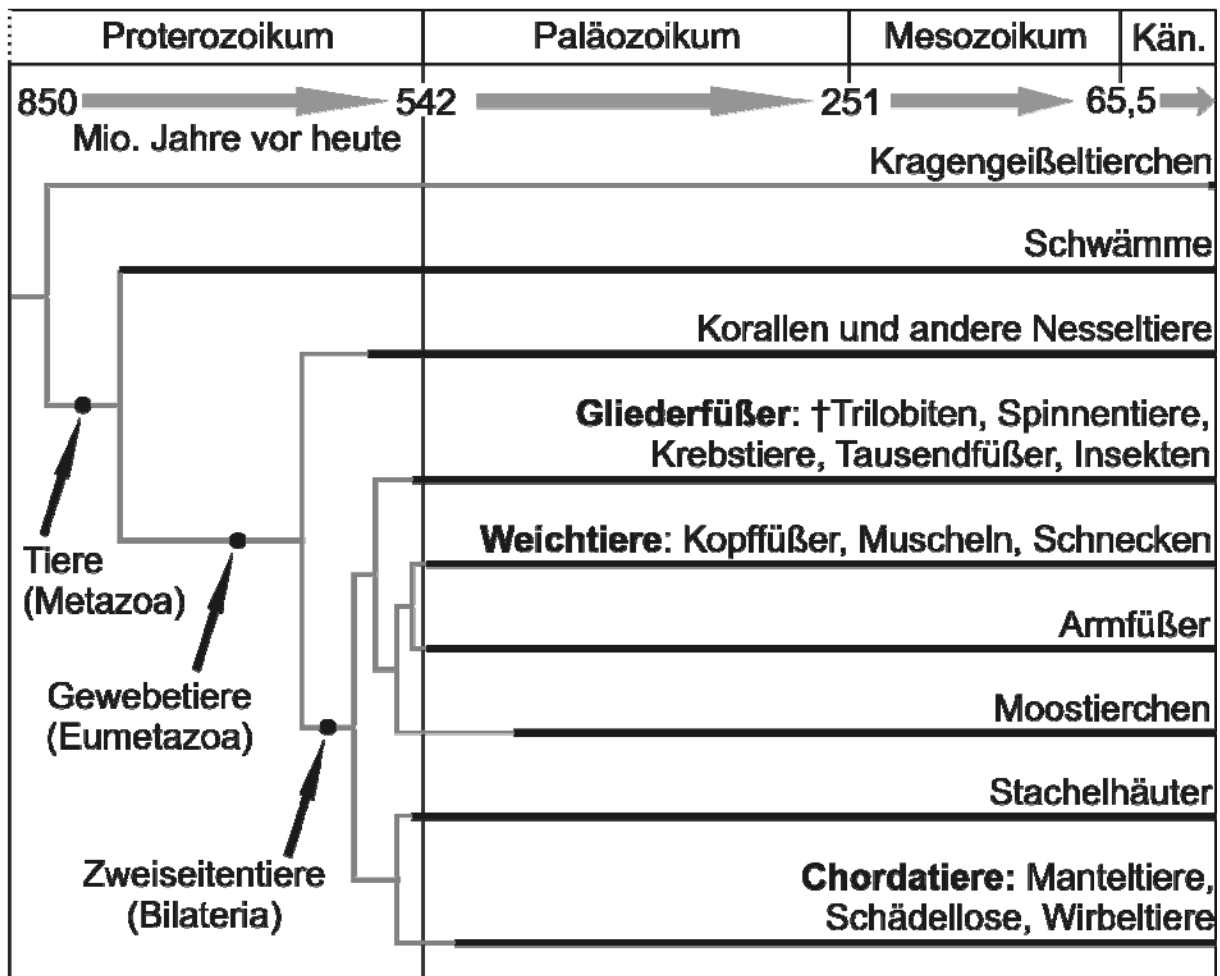
Danach änderte sich das Leben im Meer grundlegend. Während sich im "Garten von Ediacara" die Tiere noch nicht gegenseitig fraßen, traten im Kambrium mit den ersten Räubern auch die ersten **Skelette** auf, mit denen sich die Beutetiere schützten. Mit der Skelettbildung nahm der Fossilbeleg stark zu. In der "**Kambrischen Explosion**" erhöhte sich schlagartig die Vielfalt der Tiere und die der ökologischen Beziehungen. Alle heutigen Tierstämme sind seither durch Funde belegt.

Schwämme und Korallen: niedere Tiere als Riffbildner

→ Nr. 9

Die ältesten fossilen Belege für **mehrzellige Tiere** (Metazoa) stammen von **Schwämmen**. Ihr Bauplan – ein einfacher Schlauch oder Becher – hat sich bis heute mit nur geringen Veränderungen erhalten. Eine bedeutende Gruppe fossiler Schwämme sind die **Lagenschwämme** (Stromatoporen, ■), die früher zu den Korallen gezählt wurden und im Devon markante **Schwammriffe** aufbauten. Nach einer zweiten Blüte Mesozoikum starben sie am Ende der Kreidezeit aus.

Neben den **Hornkieselchwämmen** (Demospongiae, ■) sind seit dem Kambrium auch die **Glasschwämme** (Hexactinellida, ■) bekannt. In der Trias und im Jura sind Kieselchwämme die Erbauer von Schwammriffen (z.B. im Oberjura der Schwäbischen Alb). **Kalkschwämme** (Calcarea, ■) treten erstmals im Devon auf.



Stammbaum der Tiere: Besonders Gruppen, deren Fossilien häufig vorkommen, sind berücksichtigt. Dicke Linien zeigen an, seit welchem Erdzeitalter tatsächlich Fossilien einer Gruppe auftreten.

Korallen sind Tiere mit echten Geweben. Sie gehören zu den Blumentieren (Anthozoa), einer Gruppe der **Nesseltiere** (Cnidaria). Im Erdaltertum dominieren zwei Gruppen der sechsstrahligen Korallen (Hexacorallia): die **Bödenkorallen** (Tabulata, ■) und die **Runzelkorallen** (Rugosa, ■). Letztere sind durch Wölbungen (Rugae) der Außenhülle gekennzeichnet. Bödenkorallen bauten mit den Lagenschwämmen die artenreichen devonzeitlichen **Stromatoporen-Tabulaten-Riffökosysteme** auf, die bereits mit dem Massenaussterben im späten Devon verschwinden.

Zum Ende des Perms sterben Runzel- und Bödenkorallen aus und die **Steinkorallen** (Scleractinia, ■) treten auf, die im Verlauf des Mesozoikums und im Känozoikum wiederum (einschließlich der Gegenwart) wiederum große Riffe aufbauen.

Trilobiten: die „Asseln“ des Erdaltertums

→ Nr. 10

Die Trilobiten ("Dreilapper") gehören zu den **Gliederfüßern** (Arthropoda), einem Tierstamm hartschaliger Lebewesen, deren Körper und Beine mehrgliedrig sind. Sie erscheinen sehr artenreich im Kambrium. Ihre Artenzahl nimmt vom Ordovizium bis zum Aussterben Ende des Perms stetig ab. In den mehr als 270 Mio. Jahren ihrer Herrschaft haben sie alle marinen Lebensräume erschlossen und bizarre Formen entwickelt. Man kennt heute etwa 3.000 Gattungen und 20.000 Arten, die zwischen 0,1 und 70 cm groß werden, meist jedoch kleiner als 10 cm sind.

Namensgebend ist die **seitliche Dreigliederung des Körpers** in eine zentrale Spindel (Rhachis) und zwei seitliche Lappen (Pleuren). In Längsrichtung lag eine Unterteilung in Kopfschild (Cephalon), Rumpf (Thorax) und Schwanzschild (Pygidium) vor. Die meisten Trilobiten besaßen hochentwickelte **Facettenaugen**. Ihr schützendes **Außenskelett** bestand aus Chitin mit Einlagerungen von Kalziumkarbonat und -phosphat. Es wuchs nicht mit, weshalb sich Trilobiten regelmäßig häuteten – bis zu 30 Mal in ihrem Leben. Häutungsreste sind in fossiler großer Zahl erhalten. Vor Feinden schützten sich Trilobiten außerdem durch Eingraben ins Sediment, Bestachelung oder Einrollen.

Aufgrund ihrer Häufigkeit und der kurzen zeitlichen Verbreitung einzelner Arten, eignen sich Trilobiten als **Leitfossilien**. Das heißt, ihre Überreste erlauben eine relativ genaue zeitliche Einordnung von Sedimentgesteinen des Paläozoikums.

Stachelhäuter: Seeigel, Seestern & Co.

→ Nr. 11

Die **Stachelhäuter** oder **Echinodermen** (Stamm Echinodermata) zeigen eine sehr charakteristische **fünfstrahlige Symmetrie**, hatten jedoch einen zweiseitigen Vorfahren. Bei manchen frühen Stachelhäutern wie den **Beutelstrahlern** (Cystoidea; ■), die vom Ordovizium bis Devon auftraten, lag eine 2- bis 5-strahlige Symmetrie vor. Der beutelförmige Kelch der Beutelstrahler war mit Fangarmen (Brachiolen) versehen und ähnlich wie Seelilien mit einem Stiel verankert.

Seelilien (Crinoidea; ■) sind seit dem Ordovizium bekannt. Sie verankern sich mit einem aus vielen Einzelgliedern (**Trochiten**) bestehenden **Stiel** am Meeresboden und tragen am oberen Ende einen Kelch mit 5-, 10- oder 20-armigen **Kronen**. Es gab auch an Treibhölzer angeheftete Formen sowie schwimmende **Bojen-Seelilien**

(*Scyphocrinites*, ■). Als Boje fungierten gasgefüllte Schweborgane (Lobolithe, ■). Nach der ersten Blütezeit sterben die meisten Formen am Ende des Perms aus. Eine zweite Phase häufigen Auftretens, auch als Gesteinsbildner (Trochitenkalk), folgt in der mittleren Trias. Nach dem Mesozoikum nahm ihre Vielfalt stark ab.

Seesterne und **Seeigel** treten ebenfalls im Ordovizium erstmals auf. Im Devon erfolgte die Aufspaltung in **See-** und **Schlangensterne** (■). Mit dem Übergang zu einer grabenden Lebensweise entwickelten sich im Jura die **unregelmäßigen (irregulären) Seeigel** (■) aus den **regelmäßigen (regulären) Seeigeln** (■). Sie sind die einzige Stachelhäutergruppe, deren Blütezeit bis heute anhält (über 6.000 heutige Arten).

Kopffüßer: Die Tintenfische und ihre Verwandten

→ Nr. 8 und 13

Die Kopffüßer gehören wie die Muscheln und Schnecken zu den **Weichtieren** (Mollusca) und sind seit dem späten Kambrium nachgewiesen. Zehntausende fossiler Arten wurden beschrieben, darunter sind wichtige Leitfossilien.

Perlboote (Nautiloidea) treten im Paläozoikum in großer Artenzahl auf. Ursprünglich sind ihre gekammerten, gasgefüllten und von einem Rohrfortsatz (**Sipho**) durchzogenen Gehäuse gestreckt (■). Später folgten Formen mit eingerolltem Gehäuse (■). Über die Gasmenge im Gehäuse regulierten die Tiere ihre Position in der Wassersäule. Im Mesozoikum nahm ihre Vielfalt ab; nur wenige Arten überlebten bis heute.

Aus Formen mit gestrecktem Gehäuse entwickelten sich im Devon die **Ammoniten** (Ammonoidea), zu denen die **Goniatiten** (Devon-Perm; ■), die **Ceratiten** (Trias; ■) und die eigentlichen Ammoniten (Jura-Kreide; ■) gehören, von denen manche wie die Gattung *Parapuzosia* (■) riesige Größen erreichten. Bei den meisten ist das Gehäuse eben-spiralig eingerollt. Die Kammertrennwände sind von sehr variabler Gestalt. Anders als bei Nautiloiden verläuft der Siphon nicht in der Mitte der Kammern, sondern an der Außenkante. Konnte sich die Gruppe nach früheren Massensterben jeweils neu entfalten, so starb sie in der späten Kreide endgültig aus.

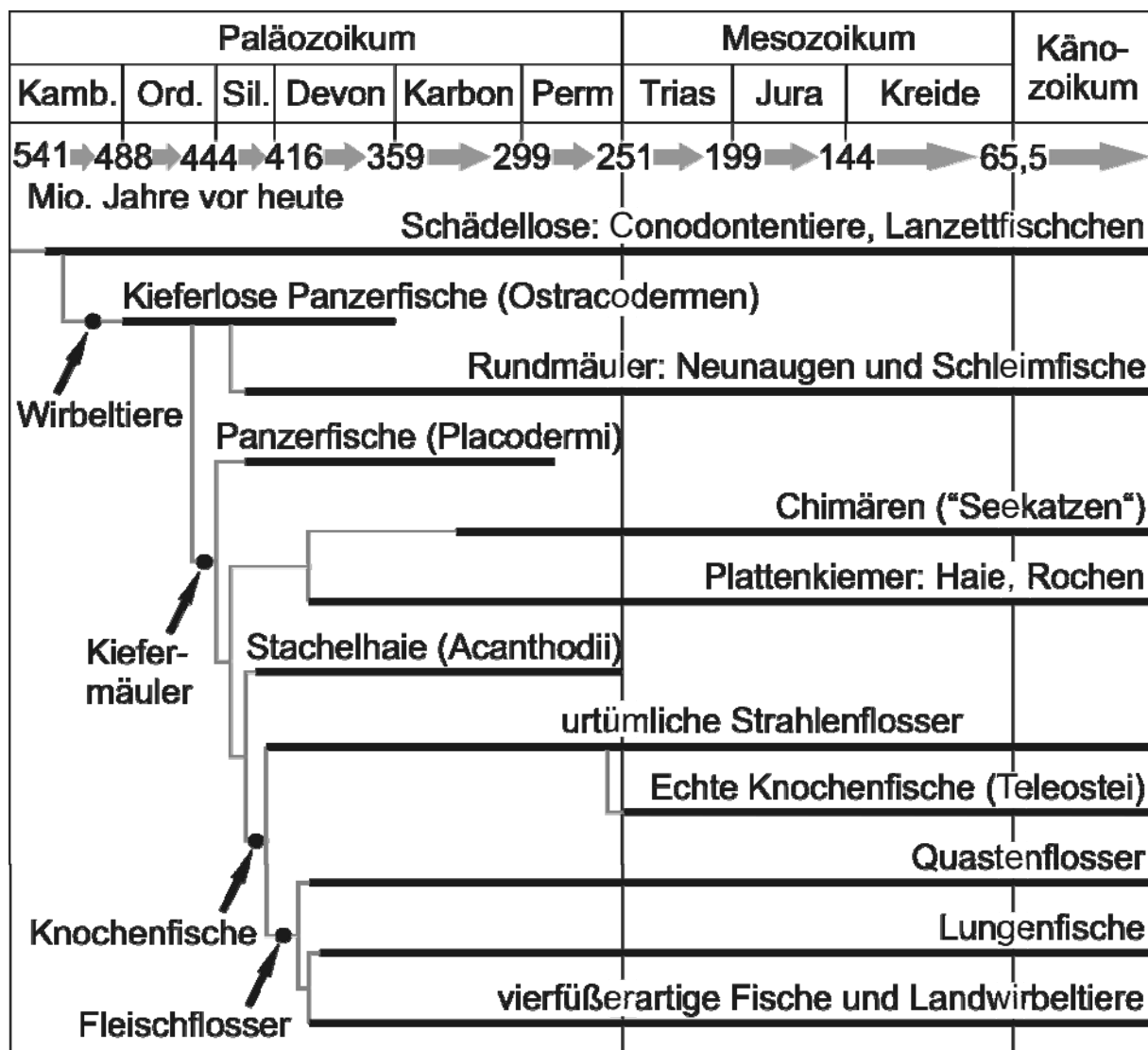
Die **Belemniten** (Belemnoidea, ■) kamen vom frühen Karbon bis zum Ende der Kreidezeit vor. Sie ähnelten heutigen Kalmaren, hatten 10 Fangarme mit Haken, keine Saugnäpfe und einen Tintenbeutel. Der kegelförmige hintere Abschnitt des Innenskeletts (Rostrum) ist oft als „**Donnerkeil**“ oder „**Teufelsfinger**“ erhalten.

Ursprung und Entfaltung der Fische

→ Nr. 7

Wirbeltiere sind eine Gruppe der **Chordatiere**: Wie die **Schädellosen** und Larven der **Manteltiere** zeigen Wirbeltiere einen biegsamen Rückenstab (**Chorda dorsalis**), der bei späteren Vertretern durch die Wirbelkörper der **Wirbelsäule** ergänzt oder ersetzt wird. *Pikaia* und *Haikouichthys* aus dem Kambrium werden als frühe Chordatiere angesehen, aus denen die Fische hervorgegangen sein könnten.

Hardteile aus **Kalziumphosphat** waren eine wichtige evolutionäre Neuerung der Wirbeltiere. Die ersten Fische waren **Panzerfische**. Sie besaßen lediglich ein von der Haut gebildetes Außenskelett, das unter anderem aus **Knochen** und **Zahnbein** bestand, jedoch noch kein knöchernes Innenskelett.



Stammbaum der Fische: Erst ab dem späten Mesozoikum wurden die Echten Knochenfische zur dominanten Fischgruppe.

Während im Devon **Knorpelfische** wie die **Plattenhäuter** (Placodermi; darunter die Gattung *Coccosteus*, ■), Stachelhaie und **Haie** häufig waren, setzten sich danach immer stärker die **Knochenfische** durch, deren ehemals knorpeliges Innenskelett zu Knochen umgebildet worden war. Im Unterschied zu **Strahlenflossern** wie dem „Kupferschiefer-Hering“ *Palaeoniscum freieslebeni* (■) beinhalten die Flossen der **Fleischflosser** nahe dem Ansatz einen muskelumhüllten knöchernen Strahl.

Die Umbildung eines vorderen **Kiemenbogens** zum bezahnten **Kiefer** war ein bedeutender Evolutionsschritt, der unter anderem dazu führte, dass Fische vielfältigere Ernährungsweisen annehmen konnten. Die ungepanzerten **kieferlosen Fische** überlebten das Auftreten der **Kiefernäuler** und kommen bis heute vor.

Die Evolution der Haie

→ Nr. 7 und 12

Wie bei anderen Knorpelfischen, z. B. den heutigen **Seekatzen** und **Rochen**, besteht das Skelett der Haie zum größten Teil aus **Knorpel**. Als Fossilien findet man daher oft nur einzelne Zähne, Flossen-, Nacken- oder Kopfstacheln sowie Hautzähnen.

Die ältesten Haizähne sind aus dem Silur belegt und über 420 Millionen Jahre alt. Viele Haie des Paläozoikums hatten mehrspitzige Zähne, so auch die **Süßwasserhaie** der Gruppe **Xenacanthiformes** (■), die zum Ende der der Trias ausstarben.

Die **Hybodontiformes** waren eine im Mesozoikum weit verbreitete Gruppe eierlegender Haie, deren Eikapseln manchmal als Fossilien vorkommen (■). Ihre Rückenflossen wurden durch dicke Stacheln abgestützt. Ihre Zahnwurzeln glichen denen der nah verwandten Gruppe der modernen Haie und Rochen (Neoselachii), die im frühen Jura erscheinen. **Neoselachier** sind unter anderem durch bewegliche Kiefer, ein nach unten weisendes Maul, und verkalkte Wirbelkörper gekennzeichnet

Der **Megalodon** (*Carcharocles megalodon*) war der größte bekannte Hai der Erdgeschichte. Er kam vom Paläogen bis zum frühen Quartär vor (28 bis 1,5 Mio. Jahre vor heute). Der Hai war 12 bis 14 (18) m lang und bis zu 14 Tonnen schwer. Beutetiere des Megalodons waren vor allem Wale. Seine Beißkraft war 10 mal größer als die des heutigen **Weißes Hais**, der zur selben Familie (Lamnidae) gehört. Die Maulöffnung war bis zu 1,8 m breit und 1,2 m hoch (■).

Landgang der Pflanzen und Tiere

Grünalgen, **Moose** und **Flechten**, die ersten Landgänger des Ordoviziums, kennt man nur durch mikroskopisch kleine fossile Sporen. Seit mehr als 420 Millionen Jahren gibt es auch Pflanzen, die ein **Leitgefäßsystem** zum Stofftransport sowie Festigungselemente als Voraussetzung für den aufrechten Wuchs und einen Verdunstungsschutz (Epidermis, Kutikula, Spaltöffnungen) besitzen.

Aus den wasserlebenden Gliederfüßern gingen in etwa zur selben Zeit die ersten **Landspinnen** und **Tausendfüßer** hervor. Zu **Luftatmung** besitzen sie ein System von Röhren (**Tracheen**) - ebenso wie die ersten **Insekten**, die im Fossilbeleg etwas später auftreten.

Im Unterschied zu den heutigen **Quastenflossern** (→ *Exponat im nachfolgenden Ausstellungsraum*) können die mit ihnen verwandten **Lungenfische** auch Luft atmen. Ein weitere Gruppe der Fleischflosser, die sogenannten "vierfüßerartigen Fische" (**Tetrapodomorpha**), waren ebenfalls zur Lungenatmung fähig. Sie bilden die Stammgruppe der **Landwirbeltiere** (**Tetrapoda**).

Tetrapodomorphe Fische wie **Panderichthys** und **Tiktaalik** konnten sich im flachen Wasser mit ihren muskulösen, teils mit Gelenken versehenen Flossen abstützen und kürzere Landwege zwischen zwei Gewässern überbrücken. Bei den ersten echten Vierfüßern wie **Ichthyostega** und **Acanthostega** liefen die Gliedmaßen in Zehen anstelle von Flossenstrahlen aus und nur ein Schwanzflossensaum verblieb.

Nachzügler bei der Besiedlung des Festlandes waren die **Lungenschnecken**, die erstmals im Perm auftreten.

Die Fußspuren früher Landgänger

→ *Nr. 14*

Man kann Lebewesen vergangener Erdzeitalter nicht nur anhand ihrer Körperfossilien studieren, sondern auch mittels ihrer fossilen **Spuren**. Dazu gehören Fußabdrücke und Fraßspuren ebenso wie Grabbauten von Würmern oder Kotpillen.

Die ältesten Fußspuren mutmaßlicher Landwirbeltiere wurden im Jahr 2010 aus Polen beschrieben. Sie stammen aus den Sedimentgesteinen einer fast 400 Millionen Jahre alten Küstenebene und sind älter als die Skelettfunde der

Uramphibien *Ichthyostega* und *Acanthostega* aus dem Oberdevon, die sieben bzw. acht Finger und Zehen besaßen.

Die hier gezeigte **Fährtenplatte** ist die Deckplatte einer mit Spurenfossilien bedeckten Landoberfläche aus dem Unterperm der Lokalität Bromacker bei Tambach-Dietharz im Thüringer Wald. Sie zeigt eine Abfolge von Hand- und Fußeindrücken der **Spurengattung *Ichniotherium***. Der **Fährtenherzeuger *Orobates*** besaß fünf Finger und Zehen ohne spitze Krallen und glich in seinem Aussehen eher einem Reptil als einem Amphib.

Da weder Bauch- noch Schwanzschleifspur erhalten sind, muss der Erzeuger den Körper beim Laufen vom Boden abgehoben haben. Die verhältnismäßig kurzen Schritte und der kleine Schrittwinkel zeigen an, dass der Erzeuger eher gemächlich gegangen ist als schnell gelaufen. Da Hände und Füße nur wenig zur Laufrichtung verdreht sind, hat das Tier den Rumpf beim Laufen anders als seine Vorfahren wahrscheinlich nur wenig seitlich gekrümmt.



Das Foto zeigt einen Ausschnitt der ausgestellten *Ichniotherium*-Fährtenplatte mit einem einzelnen Hand-Fuß-Paar.

Evolution und Artenvielfalt an Land

→ Nr. 15, 17 bis 22

Die Stammesgeschichte der Landwirbeltiere

Die frühen Amphibien mussten wie die heutigen **Frösche** und **Schwanzlurche** ihre Eier im Wasser ablegen, waren jedoch weitaus vielgestaltiger als die heutigen Gruppen. Es gab z.B. krokodilartige Räuber, Schlangenzurche, echsenartige Landbewohner und kiemenatmende Seeboden-Lauerjäger.

Aus den **reptilenartigen Amphibien** gingen die **Amniontiere** hervor, die ihre Eier aufgrund des Amnions, einer zusätzlichen Schutzhülle, sowie einer harten Schale an Land ablegen können. Zum Schutz vor Austrocknung und Sonnenstrahlung entwickelten sich bei diesen Tieren Hautschichten aus **Horn**. Die Linie der Amniontiere spaltete sich auf in die Säugetierähnlichen Reptilien (Synapsida), die Parareptilien und die Echten Reptilien (Eureptilia).

Im Perm entwickelten die **säugetierähnlichen Reptilien** eine große Vielfalt. Sie besaßen hoch spezialisierte Gebisse und brachten neben fleischfressenden Formen mit den Anomodontia auch die erste bedeutende Gruppe der Pflanzenfresser hervor.

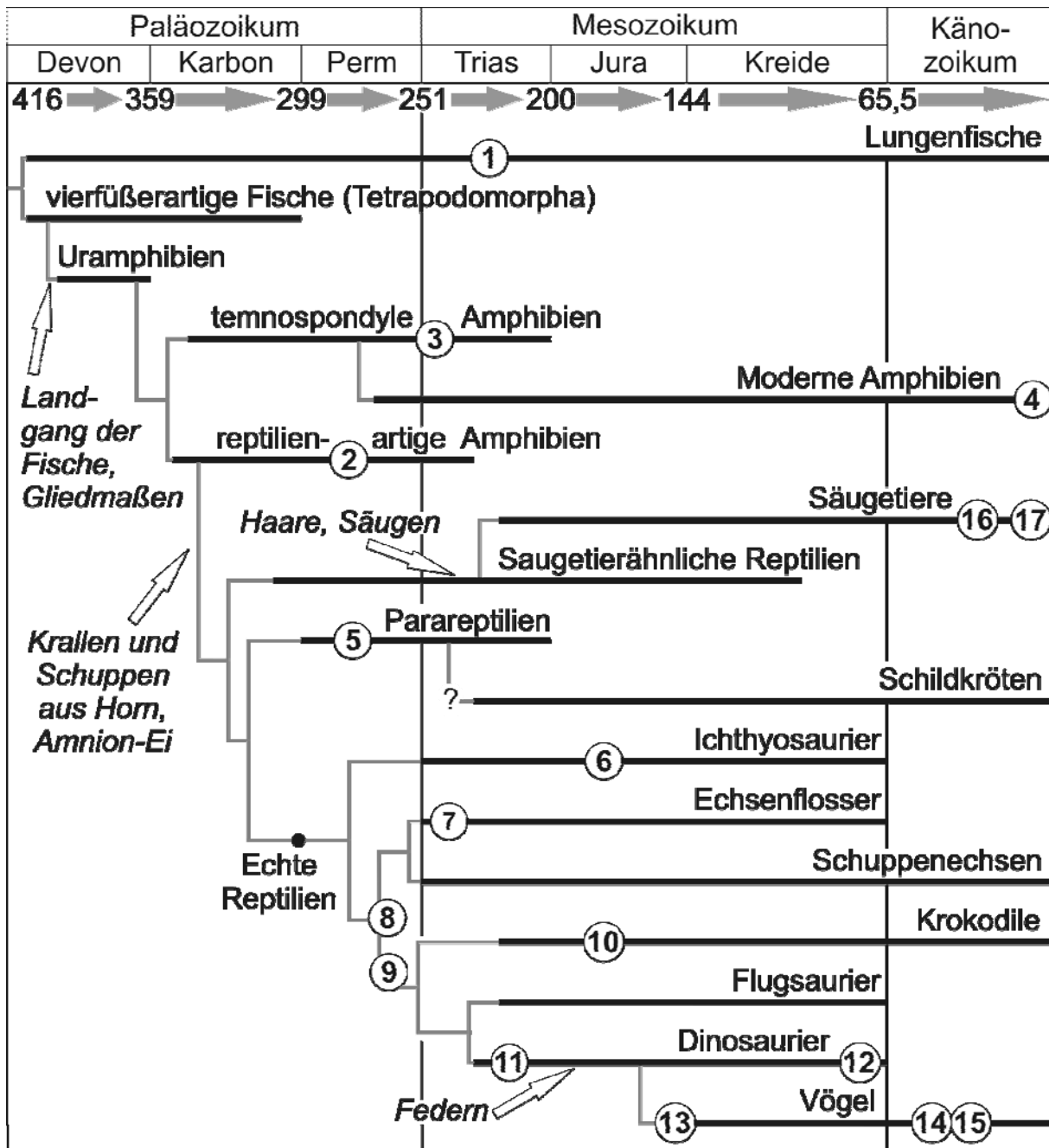
Im Mesozoikum blühten die **Echten Reptilien** auf: Während die **Herrscherreptilien** (Archosaurier), zu denen auch Krokodile, Flugsaurier und Dinosaurier gehören, die Vorfahren der Säugetiere in den Landökosystemen ablösten, drangen andere Gruppen wie die **Fischsaurier** in das Meer vor. Mit dem Massensterben am Ende der Kreidezeit begann die Entfaltung der **Modernen Vögel** und der **Säugetiere**.

Von vierbeinigen Landgängern zu Schwimmern: Wenn die Evolution zurück ins Wasser führt

→ Nr. 7 und 16

Bereits unter den urtümlichen Vierfüßern gab es Meeresbewohner. Dazu zählten große fischfressende Lurche wie die **Trematosaurier** (■).

Die **Mesosaurier** (■) des Perms waren die ersten Meeresbewohner unter den urtümlichen Kriechtieren. Ihnen folgten die großen Meeresreptilien des Erdmittelalters: die hai- oder delphinartigen **Fischsaurier** (■), die mit heutigen Schuppenreptilien verwandten **Mosasaurier**, und die **Echsenflosser** (■), zu denen auch die Paddlechsen (Plesiosaurier) gehörten.



Ausstellungsobjekte: 1. *Ceratodus* (Zahn); 2. Fährte *Ichniotherium*; 3. Lurch *Trematosaurus*; 4. Frosch *Rana*; 5. Mesosaurier *Stereosoterneum*; 6. Fischeosaurier *Stenopterygius*; 7. Nothosaurier *Cymatosaurus*, *Serpianosaurus*, *Nothosaurus*; 8. Flugreptil *Weigeltisaurus*; 9. Saurier *Protosaurus* (Arm); 10. Meereskrokodil *Steneosaurus*; 11. Dinosaurier *Plateosaurus*; 12. Dinosaurier-Eier (3 Arten); 13. Urvogel *Archaeopteryx*; 14. Lauvogel *Diatryma*; 15. Feder; 16. Huftier *Merycoïdodon*; 17. Mammut.

Stammbaum der Landwirbeltiere: Das Perm/Trias-Massensterben, nach dem viele moderne Gruppen erstmals auftreten, und das Massensterben an der Kreide/Tertiär-Grenze stellen wichtige Einschnitte in der Evolution der Landwirbeltiere dar.

Während sich manche der Rückkehrer ähnlich wie Fische vor allem durch seitliche Bewegungen des Rumpfes und Schwanzes fortbewegten, nutzten andere verstärkt die Gliedmaßen, die mit **Schwimmhäuten** versehen oder zu **Paddeln** umgebildet waren.

Die ältesten bekannten **Schildkröten** waren Küstenbewohner. Viele **Krokodile** gingen wie *Steneosaurus* (■) im Verlauf ihrer Evolution zu einer Lebensweise über, die stärker an das Wasser gebunden ist als bei ihren Vorfahren.

Die ersten flugunfähigen Tauchvögel der Gruppe Hesperornithiformes sind bereits aus der frühen Kreide bekannt. Im Paläogen bildeten die Vorfahren der **Pinguine** und **Alken** ihre Flügel zum "Unterwasserflug" um. In diese Zeit fällt auch die Evolution dreier Säugetiergruppen, deren Körperbau auf das Wasserleben ausgerichtet ist: **Wale**, **Sehkühe** und **Robben**.

Der deutsche Dinosaurier *Plateosaurus*

→ Nr. 17 und 18

Der bis zu 10 m lange und bis zu 4 Tonnen schwere *Plateosaurus* ist der am häufigsten in Deutschland gefundene Dinosaurier. Er kommt aber auch anderswo in Mitteleuropa in ca. 200 bis 215 Millionen Jahre alten Sedimentgesteinen der **späten Triaszeit** vor.

Der hier montierte Skelettabguss des "schwäbischen Lindwurms" stammt von einem Exemplar aus Trossingen (Baden-Württemberg). Aus dem nahen Halberstadt (Sachsen-Anhalt) gibt es ebenfalls Funde.

Plateosaurus war ein **Pflanzenfresser** und mit den langhalsigen Echsenfußdinosauriern (Sauropoda) verwandt. Anhand von Knochen-Wachstumsringen lassen sich die Wachstumsraten der Dinosaurier bestimmen. Es zeigte sich, dass *Plateosaurus* wie seine Verwandten besonders hohe für gleichwarme Tiere ("**Warmblüter**") typische Wachstumsraten aufwies, die Endgröße der Tiere gemäß den Umweltbedingungen jedoch stark variierte.

Ob *Plateosaurus* Zwei- oder Vierbeiner war, wird seit über 100 Jahren diskutiert. Otto Jaekel, der die Funde von Halberstadt beschrieb, nahm zunächst eine echsenartige vierbeinige Haltung an, während Friedrich von Huene von einer aufrechten zweibeinigen Haltung ausging. Untersuchungen zur Biomechanik des Skeletts zeigten, dass Rumpf und Schwanz waagrecht gehalten wurden, wobei der

Schwerpunkt des Körpers über den senkrecht stehenden Beinen lag. Der Form der Armgelenke nach dürfte *Plateosaurus* seine Hände selten aufgesetzt haben.

Die Entstehung des Flugs bei Tieren

→ Nr. 15 und 19

Gleitflieger halten ihre Flügel meist steif und nutzen den Auftrieb der umströmenden Luft. Vorfahren der Gleitflieger waren oft **Baumbewohner**, die von Ast zu Ast oder von einer Baumkrone zur anderen sprangen. Solche, deren Körperform den Fall besser abbremsen, waren dabei im Vorteil, weshalb es zur Evolution der Flügel kam. Ähnlich den heutigen **Flugdrachen** besaß *Weigeltisaurus* (■) seitlich am Rumpf ansetzende Tragflächen. Diese waren durch Knochenstreben gestützt. Bei späteren Gleitfliegern wie **Gleithörnchen**, **Zwerggleitbeutlern** und **Riesengleitern** sind Flughäute zwischen den Gliedmaßen aufgespannt.

Aktivflieger erzeugen Auftrieb durch den Flügelschlag. Die Art und Weise, wie sich bei **Insekten**, **Vögeln**, **Flugsauriern** und **Fledermäusen** der Aktiv- oder Schlagflug entwickelte, ist umstritten. Der Flügelschlag könnte z.B. anfangs das Laufen beschleunigt oder den Sprung vom Boden aus verlängert haben.

Die Evolution des Fluges im frühen Karbon war Vorbedingung für die spätere Vielfalt der Insekten. Zu den paläozoischen Gruppen zählen die **Urlibellen** (■).

Die Vögel gingen im Jura aus den **Coelurosauriern** hervor, einer vielfältigen Dinosauriergruppe, die kleine zweibeinige Fleisch-, Pflanzen- und Allesfresser mit **Gefieder** umfasste. Erst innerhalb **Urvögel**, zu denen auch *Archaeopteryx* (■) gehört, entwickelte sich der Aktivflug. Im Känozoikum legten manche großen Landvögel wie *Diatryma* (■) ihre Flugfähigkeit ab, als sich ihr Körperbau anderen Erfordernissen anpasste.

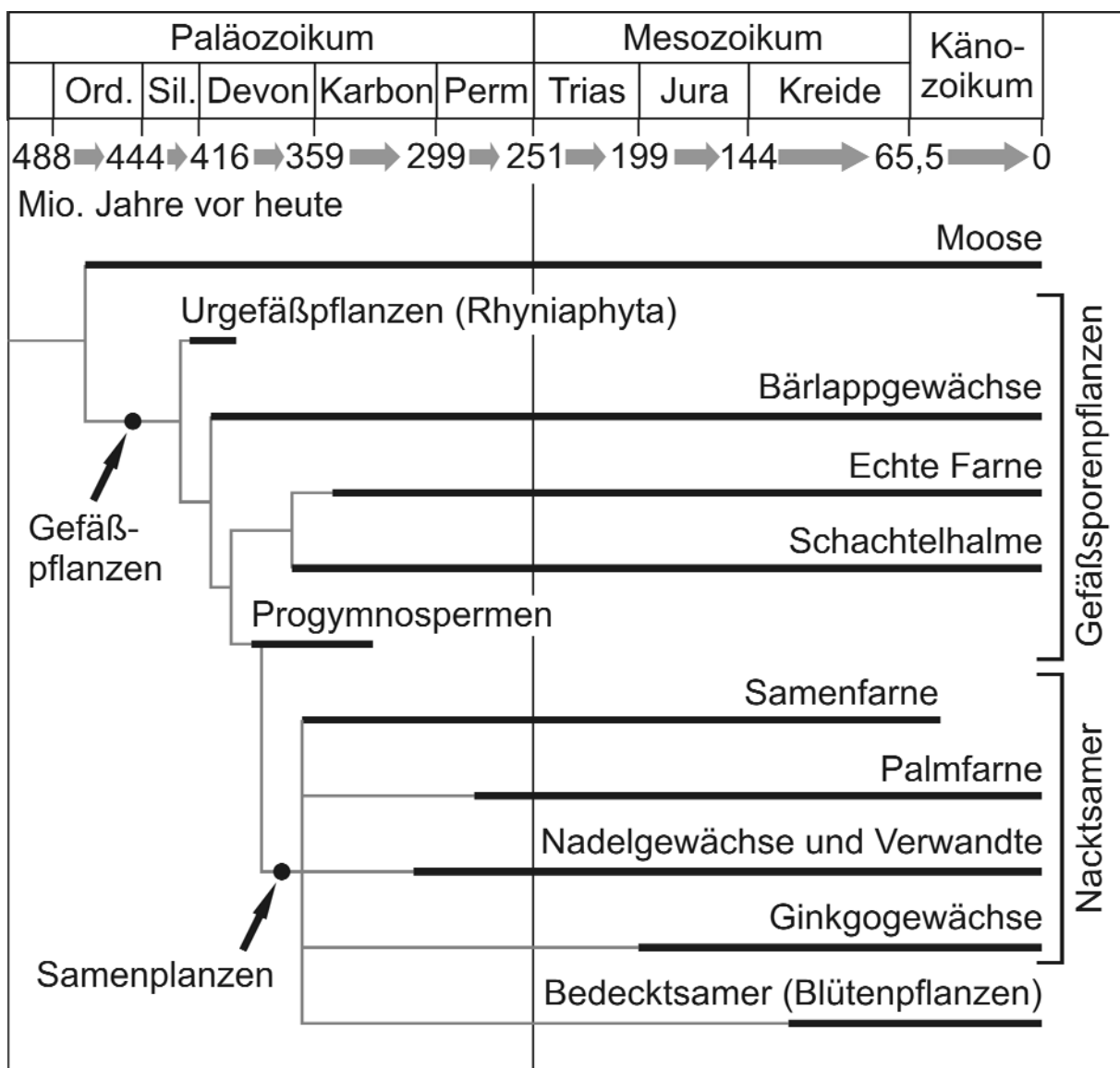
Evolution der Landpflanzen

→ Nr. 20 und 21

Die ersten krautartigen Landpflanzen bestanden aus verzweigten **Sprossachsen**, an deren Enden Sporenanlagen (**Sporangien**) zur Fortpflanzung saßen und die mit wurzelartigen Fortsätzen (**Rhizoiden**) verankert waren. Die frühen **Gefäßpflanzen** sahen ähnlich aus, besaßen jedoch **Leitgefäße** zum Stofftransport.

Während des Devons wurden sie von anderen Gefäßsporenpflanzen abgelöst: **Bärlappe**, **Schachtelhalme**, **Farne** und **Progymnospermen** besaßen **Blätter**, weiterentwickelte Leitsysteme sowie **Wurzeln** zum Stoffaustausch mit dem Boden. Frühe **Bäume** wie der Progymnosperme *Archaeopteris* besaßen verholzte Stämme und bildeten im Oberdevon erste **Wälder**. Die **Steinkohle-Wälder** des späten Paläozoikums führten unter anderem Bärlapp-Bäume (■), Schachtelalm-Bäume (■), Baumfarne (■) und frühe **Samenpflanzen** wie die koniferenähnlichen Bandblattbäume (Cordaiten).

Im Mesozoikum behaupteten sich die Farne (■) und die Bedeutung der **nacktsamigen Pflanzen** wie **Samenfarne**, **Palmfarne** und **Koniferen** (■) nahm zu.



Stammbaum der Landpflanzen: Viele Gruppen treten bereits im Paläozoikum auf.

Im Verlauf der Kreidezeit treten die **Bedecktsamer** (■) erstmals auf. Sie bilden **Blüten** und **Früchte**, wobei sich ihr Name von einer im Fruchtblatt eingeschlossenen Samenanlage ableitet. Auch dank der Kooperation mit den Insekten, den wichtigsten **Bestäubern**, wurden die Bedecktsamer zur artenreichsten und vielfältigsten Gruppe der Landpflanzen.

Besonders die Ausbreitung der **Gräser** und **Grasländer** im Neogen stellte einen weiteren Umbruch in den Landökosystemen dar.

Literaturhinweise

Im Folgenden wird nur auf deutschsprachige Literatur zum Thema eingegangen:

Entstehung des Sonnensystems und der Erde

Palme, H. (2010): Entstehung des Sonnensystems und der Erde. S. 10-19 in: G. Wefer & F. Schmieder (Hrsg.): Expedition Erde – Wissenswertes und Spannendes aus den Geowissenschaften, 3. Auflage, 461 S., Marum, Bremen, ISBN 978-3-00-030772-0.

Aufbau der Erde, Plattentektonik, Gesteine

Bahlburg, H. und C. Breitzkreuz (2003): Grundlagen der Geologie. 2. Auflage. Spektrum, Heidelberg, 423 S. ISBN 3-8274-1394-X.

Erdgeschichte, Geschichte des Lebens, Fossilien

Stanley, S. M. (2001): Historische Geologie. 2. Auflage. Spektrum, Heidelberg, 710 S. ISBN 3-8274-0569-6.

Storch, V., U. Welsch & M. Wink (2007): Evolutionsbiologie. 2. Auflage. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 449 S., ISBN 978-3-540-36072-8 (besonders Kapitel 2: Entfaltung der Organismen in der Erdgeschichte).

Müller, A. H. (1992): Lehrbuch der Paläozoologie. Bd. 1: Allgemeine Grundlagen. 5. Auflage. Fischer, Jena, 496 S., ISBN 3-334-6037.

Ziegler, B. (1992): Einführung in die Paläobiologie. Bd. 1 Allgemeine Paläontologie, Stuttgart, Schweizerbart, 248 S., ISBN 3510653165.

Artenvielfalt im Meer, Stammesgeschichte der wirbellosen Tiere

Murray, J. (Hrsg.) (1990): Wirbellose Makrofossilien - Ein Bestimmungsbuch. Enke, Stuttgart, 266 S. ISBN 3432966016.

Müller, A. H. (1989-1994): Lehrbuch der Paläozoologie. Bd. 2: Invertebraten. 3 Teile. Fischer, Jena. ISBN 3899370163, 3899370171, 389937018X.

Ziegler, B. (1983, 1998): Einführung in die Paläobiologie. Bd. 2 und 3: Spezielle Paläontologie. Stuttgart, Schweizerbart, ISBN, 3510650360, 3510651790.

Geyer, G. (1998): Die Kambrische Explosion. Paläontologische Zeitschrift 72: 7-30.

Stammesgeschichte der Wirbeltiere, Ursprung der Vögel

Benton, M. J. (2007): Paläontologie der Wirbeltiere. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 472 S., ISBN 3899370724.

Moser, M. (2003): *Plateosaurus engelhardti* Meyer, 1837 (Dinosauria, Sauropodomorpha) aus dem Feuerletten (Mittelkeuper; Obertrias) von Bayern. Zitteliana Reihe B, Abhandlungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und Geologie 24:1-186.

Wellnhofer, P. (2008): *Archaeopteryx*: Der Urvogel von Solnhofen. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 256 S., ISBN 3899370767.

Evolution der Landpflanzen

Mägdefrau, K. (1968): Paläobiologie der Pflanzen. Fischer, Jena 549 S.

Bresinsky, A., C. Körner, J. W. Kadereit, G. Neuhaus, U. Sonnewald (2008): Strasburger – Lehrbuch der Botanik. Begründet von E. Strasburger. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 36. Auflage, 1176 S., ISBN 3827414555.