

Die Entstehung der Erde

4600 Millionen Jahre
oder 1122 Meter
vor heute

Zeitalter: Hadaikum

Nach allem was wir wissen, hat sich die Erde vor 4,6 Milliarden Jahren zusammen mit der Sonne und den anderen Planeten als glühender Feuerball aus einer heißen Gaswolke gebildet. Das Universum selbst ist da bereits 9,2 Milliarden Jahre alt. Sein Entstehungszeitpunkt läge damit etwa 2,2 km vor diesem Schild.

Irgendwo auf dem Weg zum nächsten Schild setzt die chemische Evolution ein, die abiotische Bildung größerer Moleküle aus den Bestandteilen der Ursuppe. Am nächsten Schild geht sie in die biologische Evolution über: Dort, in nur 122 Metern Entfernung, beginnt die Entwicklung des Lebens – die Evolution.

Bereits 500 Mio. Jahre nach der Entstehung unseres Sonnensystems sind erste Spuren von Leben auf der Erde nachweisbar. Dies lässt vermuten, dass unter geeigneten Bedingungen die Entstehung von Leben nicht so unwahrscheinlich ist, wie lange Zeit angenommen.



Die Erde ist extrem heiß. Nach Abklingen des Meteoritenbeschusses kühlt sie soweit ab, dass eine dünne Kruste entsteht. Durch Vulkanismus und Ausgasung bildet sich eine erste Atmosphäre, noch ohne Sauerstoff. Etwas flüssiges Wasser kondensiert aus ausgasendem Wasserdampf.



Erste Spuren des Lebens

4100 Millionen Jahre
oder 1000 Meter
vor heute

Zeitalter: Hadaikum

Auf der mit 500 Millionen Jahren noch sehr jungen Erde geht die chemische Evolution in die biologische Evolution über. Damit beginnt die Entwicklung des Lebens.

Das Leben entsteht im Wasser und breitet sich auch dort aus. Ur-Zellen beginnen sich zu vermehren. Sie geben ihr Erbgut an ihre Nachkommen weiter. Dabei verändert es sich zuweilen und unterliegt der natürlichen Auslese.

Versuche, dir während der Wanderung von Station zu Station bewusst zu machen, wie unvorstellbar lang 4100 Millionen Jahre sind.

Die erste Atmosphäre besteht aus ca. 80 % Wasserdampf, 10 % Kohlendioxid sowie Schwefeldioxid, Stickstoff und anderen kleinen Molekülen (Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Kohlenmonoxid, Methan, Ammoniak). Durch Abkühlung kondensiert der Wasserdampf. Dauerregen und die Bildung der Ozeane sind die Folge.



Erste Cyanobakterien



3500 Millionen Jahre
oder 854 Meter
vor heute

Zeitalter: Archaikum

Vorläufer der Cyanobakterien (früher Blaualgen genannt) sind die ersten Zellen, deren Spuren in alten Gesteinen nachweisbar sind. Durch ihre Zellmembran waren sie bereits in der Lage, den Stoff- und Energieaustausch mit ihrer Umgebung zu regulieren.

Auch Kalkausfällungen (Stromatolithen) anderer Mikroorganismen sind aus dieser Zeit nachweisbar.



Das ursprünglich in der Atmosphäre vorhandene Kohlendioxid löst sich in den Ozeanen und wird dort zum Aufbau der Biomasse genutzt. Damit besteht die Atmosphäre fast nur noch aus Stickstoff. Sauerstoff ist noch nicht vorhanden, entsprechend auch keine Ozonschicht, die vor UV-Strahlen schützt. Während dieser Periode könnte sich der erste Kontinent Ur gebildet haben.



Photosynthese

2500 Millionen Jahre
oder 610 Meter
vor heute

Zeitalter: Proterozoikum / Siderium

Zellen entwickeln die Fähigkeit, aus Sonnenlicht immer effizienter Energie zu gewinnen. Der entstehende Sauerstoff führt über Millionen von Jahren lediglich zur Bildung von wasserunlöslichen Metallsalzen in den Ozeanen. Es entstehen mächtige Bändererzschichten, die wir noch heute abbauen.

Die Eisenkonzentration im Wasser sinkt, so dass freier Sauerstoff auftritt. Der ist allerdings giftig: Das **erste große Aussterben** („Große Sauerstoffkatastrophe“) erfasst die meisten Arten. Organismen, die in sauerstofffreier Umgebung leben, bleiben unbehelligt. Neue Arten, die Sauerstoff vertragen oder damit sogar viel Energie gewinnen, breiten sich aus.



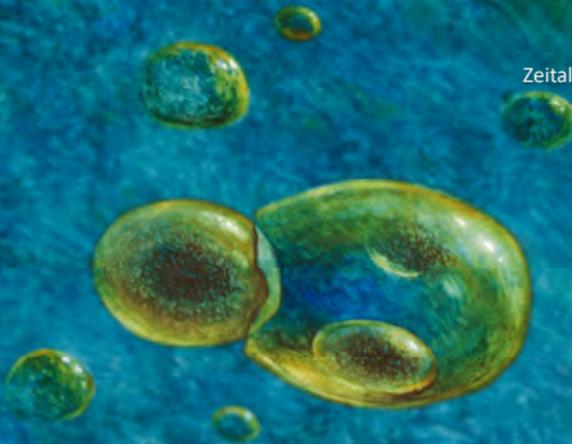
Erster Sauerstoff gelangt in die Atmosphäre, sein Anteil steigt stetig. Parallel dazu sinkt der Kohlendioxid-Gehalt. Die Erde ist überwiegend von Ozeanen bedeckt. Neben Ur überragen nur vereinzelt Vulkankegel oder angehobene Erdschollen (Kratone) die Wasseroberfläche



Zellen mit Zellkern (Eukaryoten)

1300 Millionen Jahre
oder 317 Meter
vor heute

Zeitalter: Proterozoikum / Ectasium



Gegen Ende dieses Zeitalters treten erstmals Zellen auf, die im Gegensatz zu Bakterien einen echten Zellkern besitzen, in dem ihre Erbsubstanz aufbewahrt ist. Dies schützt das Erbmaterial. Die Aufteilung des Zellinnenraums in mehrere Abteile ermöglicht zudem die Trennung verschiedener chemischer Reaktionen sowie die Anreicherung von Speicherstoffen.

Zu den ersten Zellen dieser Art zählen einzellige Rotalgen, die später auch das Land besiedeln werden.



Geologisch beginnt die Bildung des Superkontinents Rodinia. Während des 200 Mio. Jahre dauernden Ectasium kommt es durch CO_2 -Verarmung der Atmosphäre wiederholt zu Eiszeiten. Diese Phasen, in denen die Landmassen dick mit Eis bedeckt sind, wechseln sich ab mit tropischen Perioden.



Stütz- und Schutzskelette

560 Millionen Jahre
oder 137 Meter
vor heute

Zeitalter: Neoproterozoikum / Ediacarium



Aus dieser Zeit stammen die ersten Fossilien von Anhäufungen miteinander verbundener Zellen. Durch die Verbindung legen sie die Grundlage für die Arbeitsteilung unter den Zellen und die Entwicklung von komplexeren Lebewesen.

Strukturproteine geben den sich rasch entwickelnden Lebewesen Form und Halt. Durch Einlagerung von Kalk in die Skelette entstehen feste Panzer, die die Organismen nicht nur stützen, sondern auch Schutz gegen Verletzungen bieten. Damit können größere Lebensformen entstehen. Viele grundlegende Baupläne von Lebewesen entstehen und existieren noch heute.



Die Verschiebung von Landmassen in Polnähe unterbricht den Zyklus aus abwechselnder Vereisung und Überhitzung der Erde. Der CO_2 -Gehalt der Atmosphäre stabilisiert sich und damit auch die Temperatur.



Wirbeltiere

**505 Millionen Jahre
oder 123 Meter
vor heute**

Zeitalter: Paläozoikum / Kambrium



Der Sauerstoffgehalt im Meer steigt stark an, innerhalb von 5 – 10 Millionen Jahren entstehen die meisten Baupläne für die noch heute existierenden Lebewesen. Fische sind die ersten Lebewesen mit Innenskelett und flexibler Wirbelsäule. Sie sind „Zweiseitentiere“. Der Bauplan ist so erfolgreich, dass das Zeitalter der Fische beginnt. Die Grundlage für die Entwicklung aller anderen Wirbeltiere, auch des Menschen, ist damit gelegt.



Im Kambrium wird das Klima wärmer. Die Polkappen schmelzen, der Meeresspiegel steigt an, bis die Kontinente großenteils von flachen Meeren überflutet sind. Die Landmassen liegen überwiegend auf der Südhalbkugel. In ihrem Inneren erstrecken sich ausgedehnte Wüsten. Das Klima ist heiß und feucht.



Landgang der Pflanzen

450 Millionen Jahre
oder 110 Meter
vor heute

Zeitalter: Paläozoikum / Ordovizium

Erste Pflanzen und in ihrem Gefolge Insekten erobern das Land, viele neue Arten entstehen. Es herrscht ein tropisches Klima, das die Pflanzen jedoch grundlegend verändern: Sie binden Kohlendioxid (Treibhausgas) aus der Atmosphäre, die Temperatur auf der Erde sinkt. Gleichzeitig steigt der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre. Auch die Chemie des Meeres verändert sich. Der Großkontinent Gondwana driftet über den Südpol. Alles zusammen löst das **zweite große Artensterben** der Erdgeschichte aus.



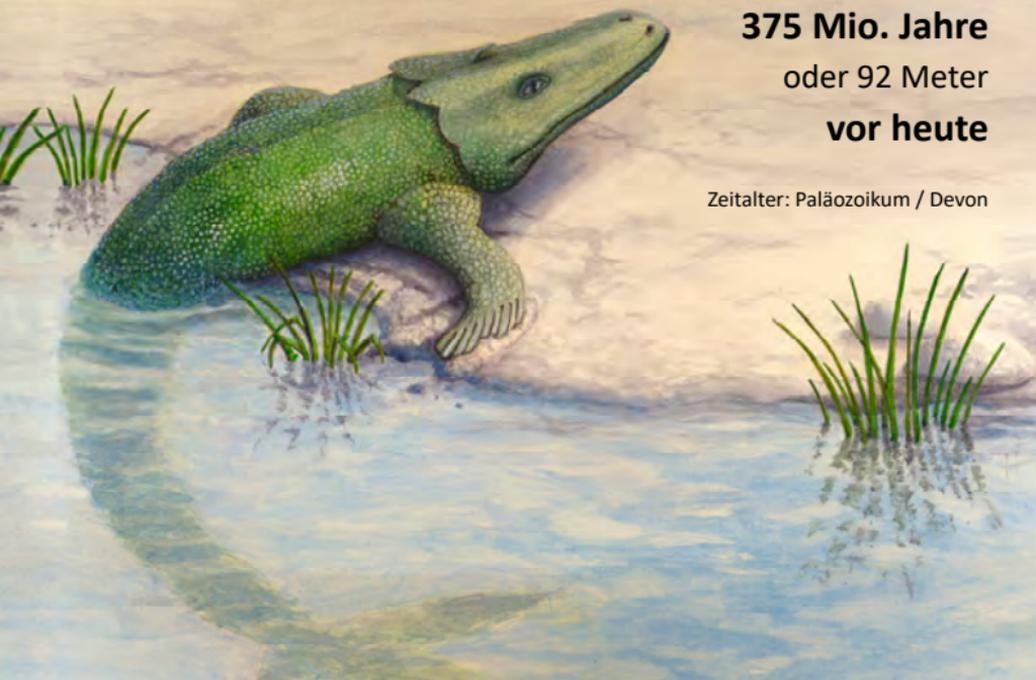
Der Superkontinent Gondwana bildet eine große Landmasse auf der Südhalbkugel. Weiter nördlich nähern sich Laurentia und Baltica einander an. Große Teile des Landes sind zunächst von flachen warmen Meeren bedeckt. Der Temperaturabfall durch den pflanzlichen Stoffwechsel führt zu einer neuen Eiszeit.



Landgang der Wirbeltiere

375 Mio. Jahre
oder 92 Meter
vor heute

Zeitalter: Paläozoikum / Devon



Mehrfache schnelle Veränderungen des Klimas und ein geringerer Sauerstoffgehalt im Wasser führen zum **dritten großen Aussterben**. Mit dazu bei trägt auch ein starker Anstieg des Vulkanismus, der vermutlich durch große Kontinentalverschiebungen hervorgerufen wird. Drei Viertel aller im Wasser lebenden Arten sind davon betroffen. Die Amphibien – Wirbeltiere, die Luft atmen und an Land leben können – erschließen sich das Land als neuen Lebensraum. Auch die ersten Quastenflosser treten auf – es gibt sie bis heute.



Flache warme Meere bedecken Teile der Kontinente. Das Klima ist zunächst warm, ähnlich wie heute in Europa. Später kühlen die Polargebiete allmählich ab. Besonders Südamerika, das nahe am Südpol liegt, ist davon betroffen.



Saurier

235 Millionen Jahre
oder 57 Meter
vor heute

Zeitalter: Mesozoikum / Trias

Ein Teil der Amphibien entwickelt sich zu Reptilien, die besser an das Landleben angepasst sind. Zu diesen zählen frühe Saurier. Gewaltige Vulkanausbrüche bewirken vor 200 Mio. Jahren das **fünfte Massenaussterben**. Dieser Katastrophe fallen 50 % aller wasserlebenden und 30 % der landlebenden Organismen zum Opfer. In ihrer Folge erobern die Saurier den Planeten.

Das Klima ist heiß und trocken. Wüsten und trockene Ebenen prägen das Zentrum des Superkontinents Pangäa, nördlich und südlich finden sich ausgedehnte Waldflächen. Die Pole sind eisfrei. Am Ende der Trias beginnt Pangäa auseinanderzubrechen.



Blütenpflanzen

**130 Millionen Jahre
oder 25 Meter
vor heute**

Zeitalter: Mesozoikum / Kreide

Die Entwicklung der Blütenpflanzen hat vermutlich schon vor ca. 200 Mio. Jahren begonnen, indem es in einigen Pflanzen zu einer Vervielfachung ihres Erbmaterials kam. Weitere Veränderungen der vervielfachten Chromosomen führten zur Ausbildung von Blüten. Diese Entwicklung muss mehrmals stattgefunden haben, was die Vielzahl der grundlegenden Blütenbaupläne zeigt.

Die ältesten versteinerten Blütenpflanzen sind allerdings nur etwa 130 Mio. Jahre alt und sehr rar. Daher ist ihre Entwicklung schlecht erforscht. Möglicherweise haben sie sich aus Farnen entwickelt, die schon seit 400 Mio. Jahren nachweisbar sind. Blütenpflanzen haben bis heute Einfluss auf die Entwicklung der Insekten und umgekehrt.



Das Klima ist durchgehend warm. Das Land ist eisfrei, deshalb ist der Meeresspiegel hoch. Die Atmosphäre enthält 1,5-mal soviel Sauerstoff und 4-mal so viel CO_2 wie heute. Der Zerfall von Gondwana setzt sich fort. Australien trennt sich von Antarktika und Afrika von Südamerika, auch Indien spaltet sich ab.



Zeitalter der Säugetiere

65 Millionen Jahre
oder 16 Meter
vor heute

Zeitalter: Känozoikum / Paläogen



Am Ende der Kreidezeit ereignet sich eine kosmische Katastrophe. Ein Meteorit schlägt in Mittelamerika ein und es kommt, vermutlich durch die Kontinentalverschiebung, zu gewaltigen Vulkanausbrüchen in Indien (Dekkan-Trapp). Es folgt ein dramatischer Temperaturabfall mit Kontinentalvereisung und Absinken des Meeresspiegels. Im dadurch ausgelösten **sechsten Massenaussterben** verschwinden die Saurier – mit Ausnahme der Vögel. Die vielseitigen Säugetiere erobern den ganzen Planeten.



Das Klima ist ca. 4 °C wärmer als heute, also subtropisch. Der Meeresspiegel ist deutlich höher, Sauerstoff- und CO₂-Gehalt der Luft ebenfalls. Über eine neue Landbrücke zwischen Afrika und Eurasien verbreiten sich deren Flora und Fauna. In Australien entwickeln sich Tiere und Pflanzen völlig anders.



Menschen (Hominine)

**7 Millionen Jahre
oder 1,6 Meter
vor heute**

Zeitalter: Känozoikum / Neogen-Miozän



Die Vorfahren der heutigen Menschen und alle ihre ausgestorbenen menschlichen Verwandten trennen sich in Afrika aus der Linie der Menschenartigen ab. Bis hierher lässt sich ein gemeinsamer Stammbaum aller Menschen zurückverfolgen. Zu diesen zählen z.B. Australopithecus afarensis (Lucy), Homo rudolfensis, Homo habilis, Homo erectus, Homo neanderthalensis und viele mehr.

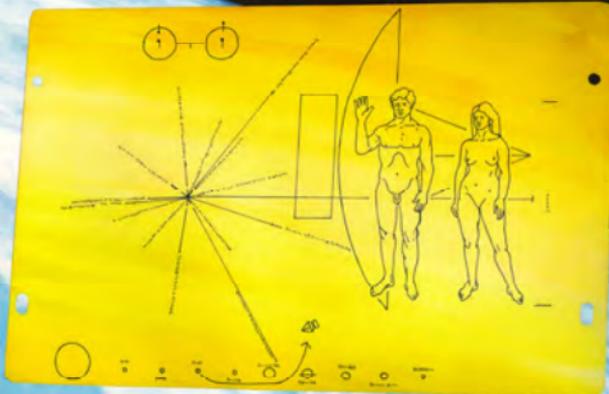
Die Entwicklung des heutigen Menschen beginnt in Afrika. In mehreren Wellen breitet er sich nach Asien und Europa aus. Dabei kommt es immer wieder zur Durchmischung der Populationen.



Die Lage der Kontinente zueinander entspricht im Wesentlichen der heutigen Situation. Auch die klimatischen Verhältnisse haben sich lediglich lokal verändert.



Moderne Menschen (Homo sapiens)



• 0,2 Millionen Jahre
oder 5 Zentimeter
vor heute

Zeitalter: Känozoikum / Quartär



Eine der Vorgängerarten des Menschen (Homo erectus) wandert vor 200000 Jahren nach Europa aus, wo sie sich zum Neandertaler entwickelt. In Afrika geht aus ihr der moderne Mensch (Homo sapiens) hervor, der vor 40000 Jahren nach Europa kommt. Dieser erobert mit seinen Werkzeugen und seiner Fähigkeit, das Feuer zu beherrschen, die Erde und wird zum heutigen Menschen. Er verändert die Umwelt stark und wird vermutlich zum **siebten großen Massenaussterben** der Erdgeschichte beitragen.



Niedrige Meeresspiegel erlaubten vor ca. 65 000 Jahren die Besiedlung Australiens von Papua-Newguinea aus. Vor ca. 15 000 Jahren erlaubte der Eisrückgang auf dem amerikanischen Kontinent dessen Besiedlung über die Beringstraße. Heute verbreitet der globale Verkehr Tiere und Pflanzen über die ganze Welt.

