

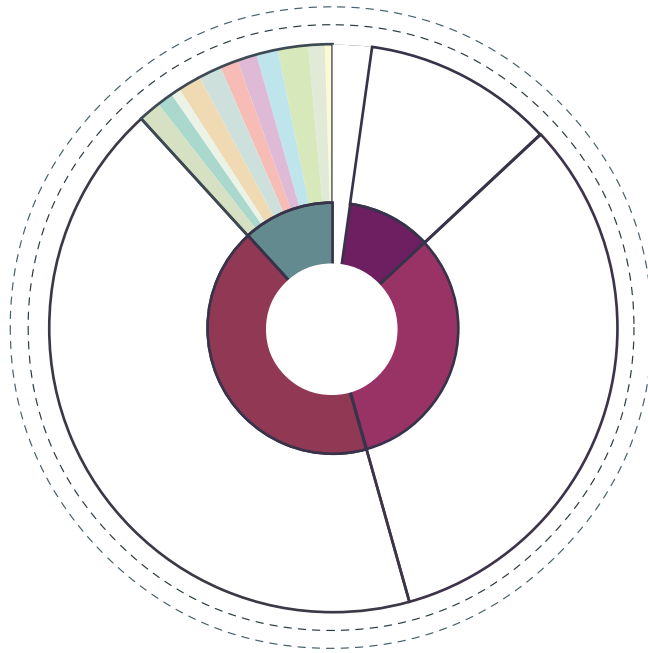
# GESCHICHTE DER ERDE

Der Weg zur Menschenzeit



# DIE GESAMTE ERDGESCHICHTE

Meilensteine des Lebens



## INHALT

### DIE GESAMTE ERDGESCHICHTE

Meilensteine des Lebens S. 1

---

**HADAIKUM** S. 2

---

**ARCHAIKUM** S. 3

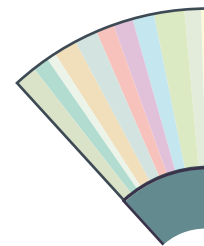
---

**PROTEROZOIKUM** S. 4

---

**PHANEROZOIKUM** S. 6

---



### DAS PHANEROZOIKUM

Zeitalter des sichtbaren Lebens S. 8

---

**KLIMADATEN** S. 12

---

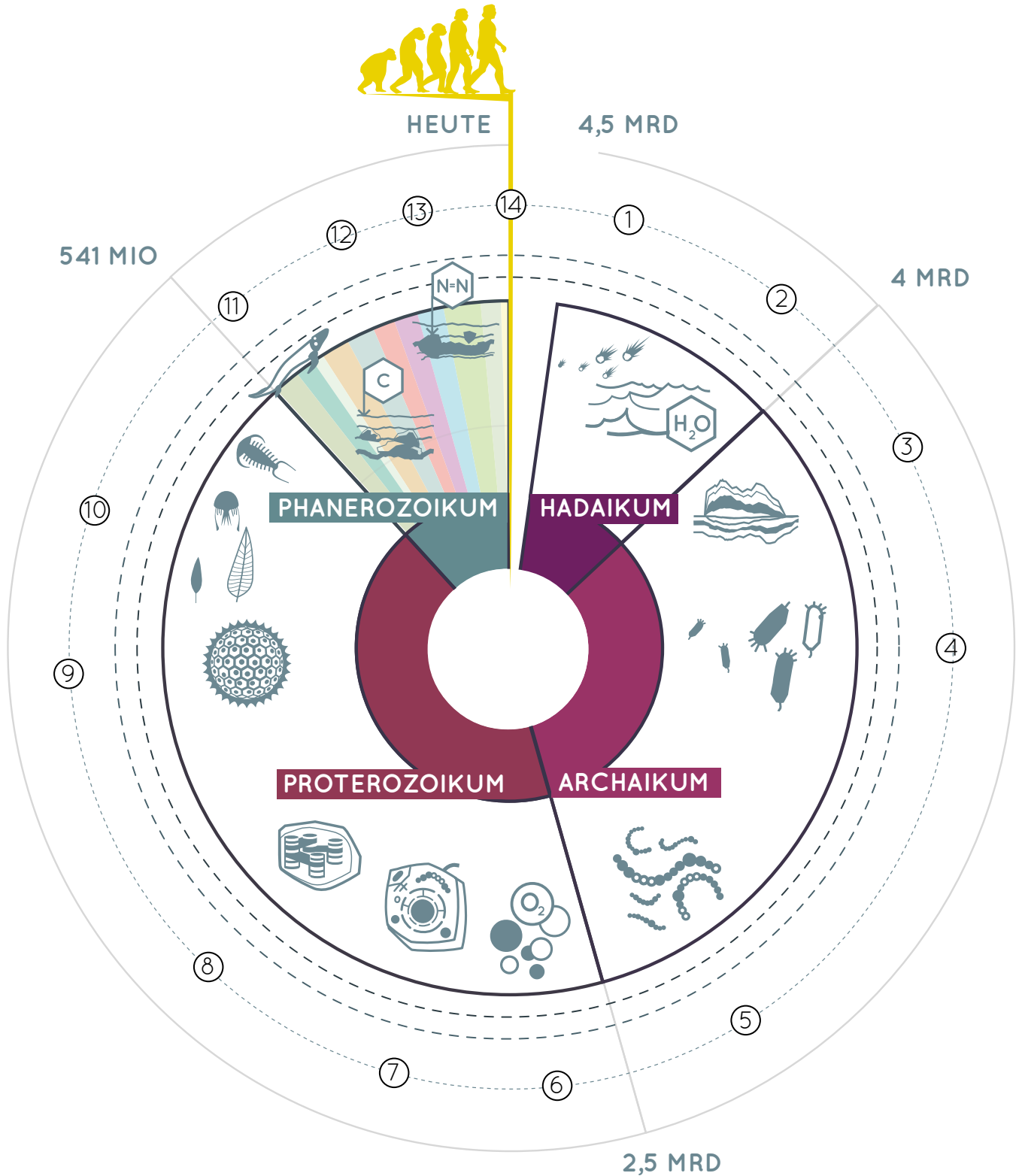
**IMPRESSUM** S. 14

---

**QUELLEN** S. 15

# DIE GESAMTE ERDGESCHICHTE

Meilensteine des Lebens

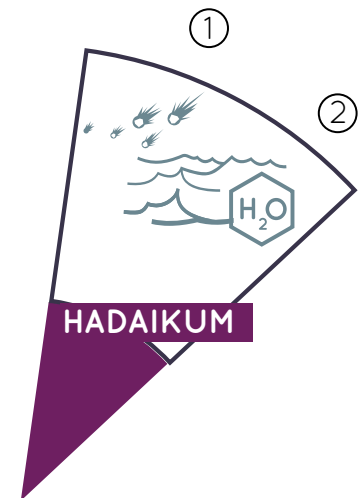


# DIE GESAMTE ERDGESCHICHTE

Meilensteine des Lebens

## HADAIKUM

4,5 - 4 Mrd. Jahre



Das Hadaikum ist das erste Äon der Erdgeschichte. Es beginnt mit Entstehung der Proto-Erde vor etwa 4,5 Milliarden Jahren, einem Glutball ohne Atmosphäre, geprägt von unzähligen Kollisionen mit Himmelskörpern. Der Zusammenstoß mit einem anderen Protoplaneten (ungefähr von der Größe des Mars) ist das wohl dramatischste Ereignis dieses Äons, aus dem der Mond als Erdtrabant hervorging.

Das Hadaikum endet geochronologisch vor etwa 4 Milliarden Jahren, als die Erdkruste weitgehend erstarrt ist und sich eine Uratmosphäre vor allem aus Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf gebildet hat.

### ① Das große Meteoritenbombardement

Die Erdurzeit ist geprägt von Einschlägen kleinerer und größerer Meteoriten. Die Einschläge lassen die dünne Erdkruste immer wieder aufreißen und verlangsamen die Abkühlung der Oberflächentemperatur des Planeten.

### ② Die ersten Meere entstehen

Vor 4 Mrd. Jahren

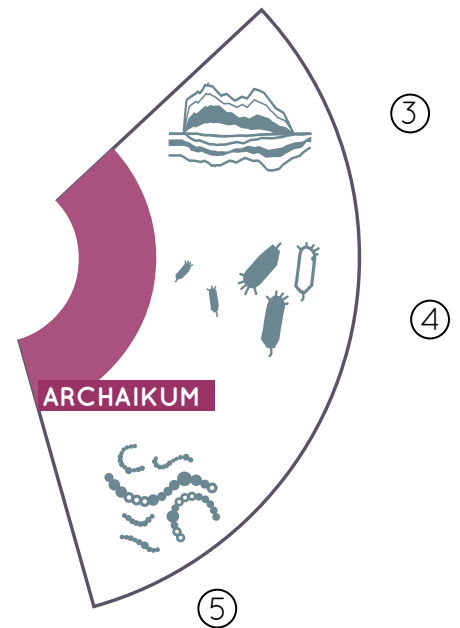
Erst als sich die Erde an der Oberfläche langsam abkühlte, kondensierte der Wasserdampf in der Uratmosphäre und es regnete viele Millionen Jahre auf den erstarrten Erdmantel, so entstanden schließlich erste Meere. Woher das Wasser kam, ist noch nicht gänzlich geklärt. Als am wahrscheinlichsten gelten Ausgasungen von Magma aus dem Erdinneren sowie Einschläge von wasserreichen Himmelskörpern.

# DIE GESAMTE ERDGESCHICHTE

## Meilensteine des Lebens

### ARCHAIKUM

4 - 2,5 Mrd. Jahre



In das Archaikum fällt nach heutigen Erkenntnissen die Entstehung des Lebens. Die Atmosphäre im Archaikum enthielt noch keinen freien Sauerstoff. Vor etwa drei Milliarden Jahren bildete sich der erste Superkontinent "Ur". Auch die erste bekannte Vereisung der Erdgeschichte wird auf die Mitte dieses Äons datiert.

#### ③ Die ältesten bekannten Gesteine

Vor 3,8 Mrd. Jahren

Im frühen Archaikum hat sich bereits eine Erdkruste aus großen kontinentalen Gesteinsplatten gebildet, die sich aufgrund der Konvektionsströme

des geschmolzenen Erdinneren fortwährend bewegen. Aus dieser Anfangszeit der Plattentektonik geht Gestein hervor, das sich bis heute erhalten hat.

#### ④ Das Leben entsteht

Vor 3,5 Mrd. Jahren

Einer verbreiteten Theorie zufolge ist vor etwa 3,5 Milliarden Jahren in der Tiefe des Ozeans das Leben entstanden. Diesem in der Geschichte der Erde einmaligen Vorgang geht eine chemische Evolution voraus, die bereits im Hadaikum ihren Anfang nahm. Vermutlich in den porösen Gesteinswänden von hydrothermalen Tiefseequellen entstand aus organischen Molekülen das erste einzellige Lebewesen, ein

Prokaryot, welcher zum Urahn aller nachfolgenden Organismen wurde. Kurz nach dem Entstehen der Urzelle teilt sich die Lebewelt in zwei Domänen auf - Bakterien und Archaeen. Sie haben sich aus dem Gestein gelöst und existieren fortan im Wasser der Ozeane.

#### ⑤ Die "Erfindung" der Photosynthese

Vor 2,7 Mrd. Jahren

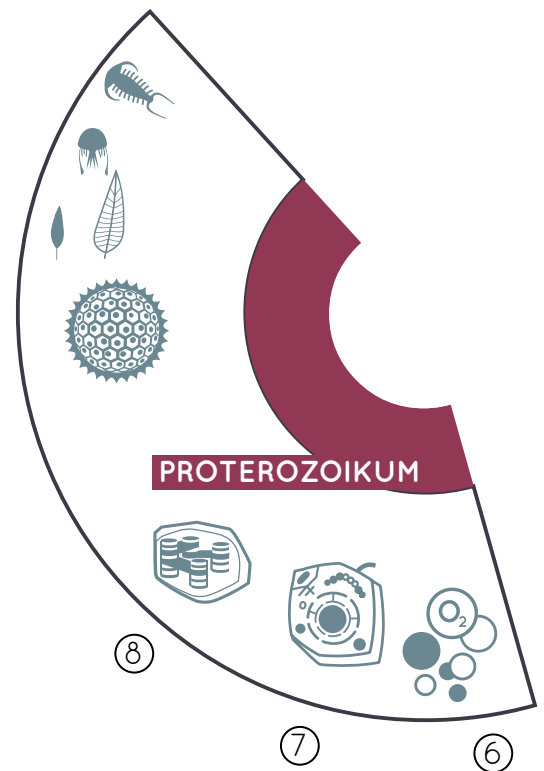
Anfangs beziehen die Einzeller ihre Energie aus chemischen Verbindungen ihrer Umgebung. Doch dann beginnen bestimmte Bakterien damit, die Strahlungsenergie des Sonnenlichts zu nutzen. Sie werden zu Cyanobakterien, die Sauerstoff ausscheiden.

# DIE GESAMTE ERDGESCHICHTE

Meilensteine des Lebens

## PROTEROZOIKUM

2,5 Mrd. - 541 Mio. Jahre



Kennzeichen des Proterozoikums ist das Vorhandensein von Sauerstoff in der Atmosphäre. Das Leben in dieser Zeit findet nur in den Ozeanen statt und ist mikroskopisch klein. Auf Zellebene fallen mehrere für die Evolution entscheidende Entwicklungen in dieses Zeitalter. Das Klima des Proterozoikums ist geprägt von Gegensätzen. Phasen hoher Temperaturen werden unterbrochen durch sogenannte Schneeball-Vereisungen - Vergletscherungen der gesamten Erde bis hin zum Äquator einschließlich der Ozeane. Die Schwankungen werden auf Unterschiede in der Konzentration des Treibhausgases  $\text{CO}_2$  zurückgeführt.

### ⑥ Die Sauerstoffrevolution Vor 2,3 Mrd. Jahren

Die Photosynthese betreibenden Cyanobakterien reichern die Ozeane und später die Atmosphäre erstmalig mit großen Mengen freien Sauerstoffs an. Ein Gas, das für die damaligen Lebewesen giftig ist. Viele Arten sterben in der Folge dieser Entwicklung aus. Für die Evolution des Lebens hat diese sogenannte Sauerstoffrevolution jedoch einen enormen Einfluss. Mit steigender Sauerstoffkonzentration in der Atmosphäre hat sich zum Beispiel Ozon ( $\text{O}_3$ ) gebildet, welches die für Lebewesen tödliche UV-Strahlung von der Sonne absorbiert.

### ⑦ Die erste höhere Zelle Vor 2,1 Mrd. Jahren

Im frühen Proterozoikum nimmt ein Bakterium ein Archaeum in sich auf, das zu einem Energielieferanten für den Einzeller wird. Ein Zellkern mit Erbmaterial bildet sich. Der erste Eukaryot ist entstanden, der Urahn aller vielzelligen Lebewesen.

### ⑧ Chloroplasten Vor 1,8 Mrd. Jahren

Ein weiterer wegweisender Schritt in der Evolution des Lebens ist die Entstehung von Chloroplasten. Eine höhere Zelle (Eukaryot) verleiht sich ein Cyanobakterium ein, das fortan in der Zelle Photosynthese betreibt. Der Urahn aller Pflanzen ist "geboren".

# DIE GESAMTE ERDGESCHICHTE

Meilensteine des Lebens

## PROTEROZOIKUM

2,5 Mrd. - 541 Mio. Jahre



### ⑨ Vielzelliges Leben

Vor 1,2 Mrd. Jahren

Nach der Entwicklung des ersten Eukaryoten 1,9 Mrd. Jahre zuvor, fächert sich das "höhere" Leben in eine Vielfalt von einzelligen Protisten auf, die auch heute noch auf der Erde vorkommen. Aus einigen dieser Organismen entwickeln sich Vielzeller, die zunächst mikroskopisch klein bleiben, aber den Weg dafür bereiten, dass sich später komplexe Pflanzen, Pilze und Tiere entwickeln können.

### ⑩ Erstes makroskopisches Leben

900 - 541 Mio. Jahre

Die frühesten Fossilien von Organismen, die mit dem bloßen Auge erkennbar sind, datieren sich auf das ausgehende Proterozoikum. Doch die Verbreitung des makroskopischen Lebens wird zunächst durch eine Reihe von globalen Kaltzeiten ausgebremst.

In diesen lebensfeindlichen Phasen sind die Meere fast vollständig vereist und das Leben beschränkt sich auf die Tiefsee und die äquatorialen Meeresregionen. Erst im Ausgang des Proterozoikums - als es auf der vergletscherten Erde zu einem Auftauen kommt - setzt ein Schub in der Entwicklung des makroskopischen Lebens ein.

# DIE GESAMTE ERDGESCHICHTE

Meilensteine des Lebens

## PHANEROZOIKUM

541 Mio. Jahre - Heute



Das jüngste Äon der Erdgeschichte ist das Zeitalter des sichtbaren Lebens. Den

Übergang vom Proterozoikum markiert eine verhältnismäßig rasche Zunahme in der Vielfalt makroskopischer Tiere unter Wasser. Auch die erste Besiedelung des Festlandes fällt in das frühe Phanerozoikum.

Die Klimageschichte des Phanerozoikums ist sehr wechselhaft. Grob gesehen wechseln sich drei ausgeprägte warme und drei kalte Phasen ab.

### ⑪ Erste Vierfüßler an Land Vor 375 Mio. Jahren

Nachdem sich bereits erste Gliederfüßer an Land ausgebreitet hatten, robbt im Devon der Urahn aller Landwirbeltiere, zu denen auch wir Menschen gehören, an die Ufer des Meeres.

### ⑫ Steinkohlewälder Vor 360 Mio. Jahren

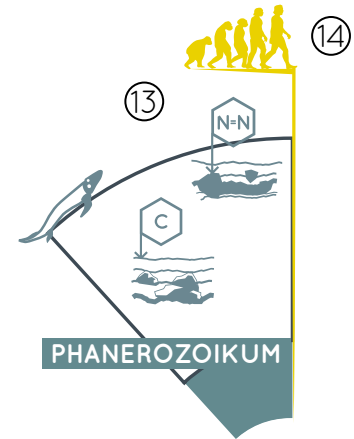
Im Karbon sank der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre um ca. 20% im Vergleich zum vorhergehenden Devon, was zu einer globalen Abkühlung führte. Zu dieser Zeit existieren ausgedehnte Sumpfwälder aus Baumfarnen, Bärlappen und Schachtelhalmen. Das abgestorbene Pflanzenmate-

rial, das den gespaltenen Kohlenstoff des  $\text{CO}_2$  enthält, wird im stehenden Wasser der Sümpfe nicht vollständig abgebaut, lagert sich als Torf ab und wird später vom Meer bedeckt. Im Laufe von **Jahrmillionen wandeln Hitze und Druck den Torf in Steinkohle um, ein "fossiler Brennstoff", den wir Menschen heute zur Energiegewinnung abbauen und verbrennen, und der einen entscheidenden Anteil an der globalen Erwärmung hat.**



# DIE GESAMTE ERDGESCHICHTE

Meilensteine des Lebens



## PHANEROZOIKUM

541 Mio. Jahre - Heute

### ⑬ Organismen düngen den Boden

Im frühen Känozoikum

Stickstoff ist für Pflanzen der wichtigste Nährstoff. Obwohl die Atmosphäre zu 78% aus gasförmigem Stickstoff ( $N_2$ ) besteht, handelt es sich dabei um eine knappe Ressource. Der Grund dafür ist, dass Pflanzen diese Form des Stickstoffs nicht verwerten können. Erst nachdem die Evolution stickstoffbindende Bakterien und Pilze hervorbrachte, konnten sich Landpflanzen massenhaft verbreiten. Die Entwicklung einer Symbiose zwischen sogenannten Knöllchenbakterien und einer bestimmten Gruppe von Blütenpflanzen - den Hülsenfrüchtlern - im Känozoikum ist

bis heute von grundlegender Bedeutung für die ökologische Basis des Landlebens, wie wir es heute kennen.

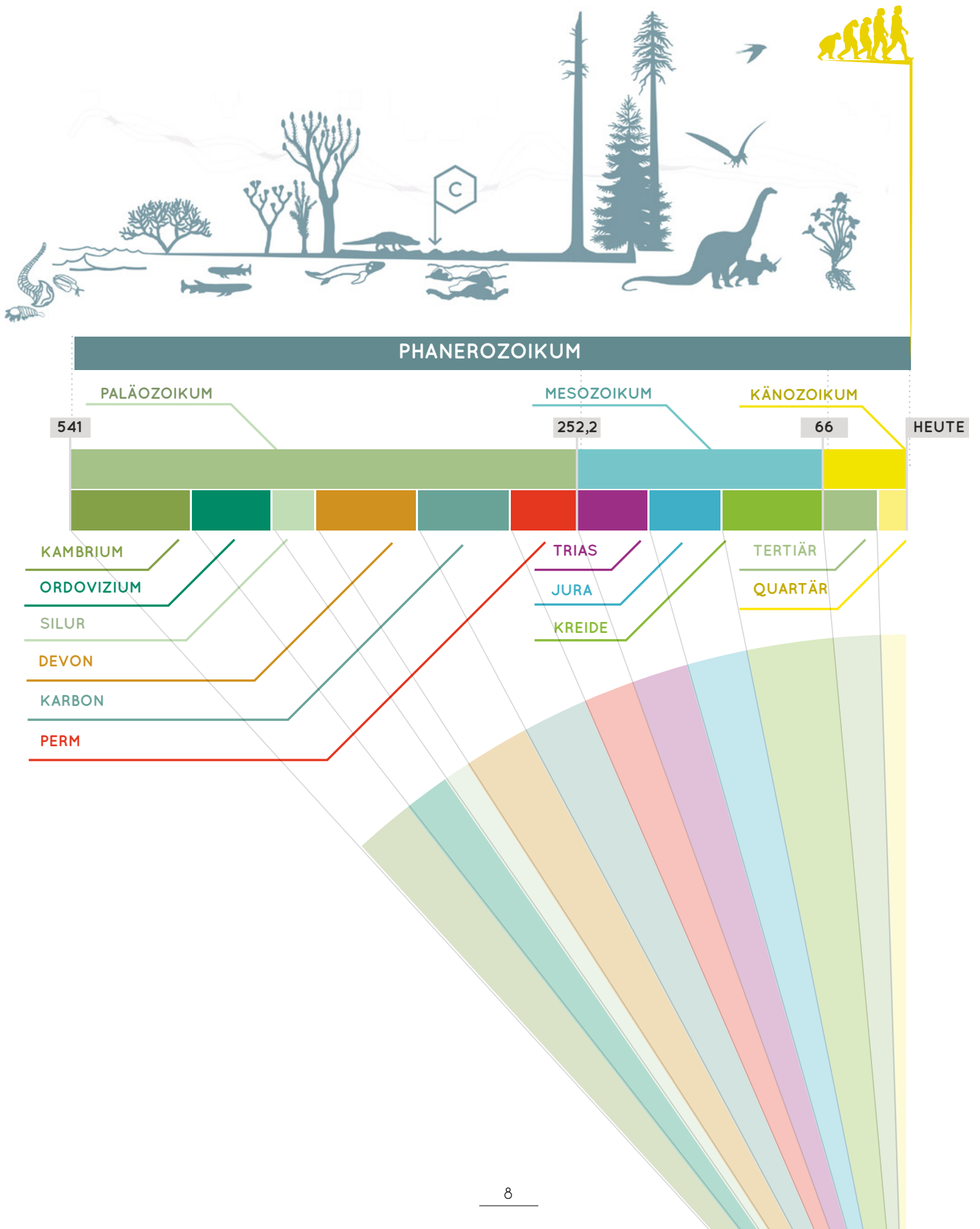
### ⑭ Auftreten der Menschen

Vor 300.000 Jahren

Stellen wir uns die Geschichte der Erde verkürzt auf einen Tag vor, so tauchen die ersten Menschen erst eine Minute und 17 Sekunden und der moderne Mensch (*Homo sapiens*) erst 4 Sekunden vor Tagesende auf.

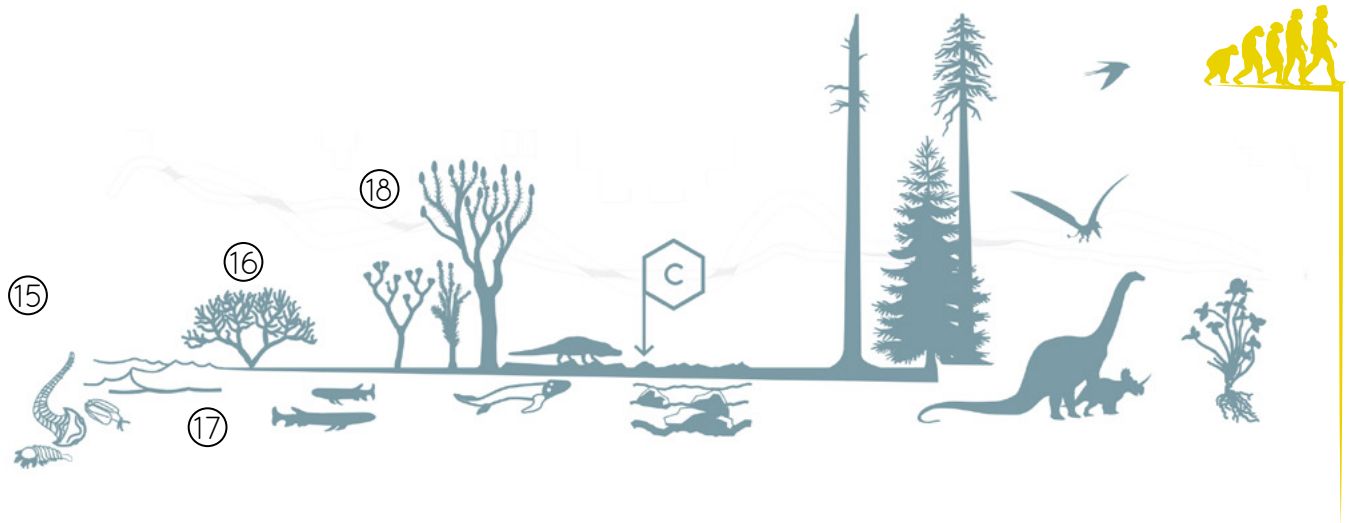
# DAS PHANEROZOIKUM

Zeitalter des sichtbaren Lebens



# DAS PHANEROZOIKUM

## Zeitalter des sichtbaren Lebens



Das jüngste und bis heute andauernde Äon der Erdgeschichte ist das Phanerozoikum. Es ist das Zeitalter, in dem sich das Leben auf dem Land ausbreitete, und damit Ökosysteme entstanden, in denen sich schließlich auch der Mensch entwickeln konnte.

Das Phanerozoikum umfasst das Paläozoikum, Mesozoikum und Känozoikum. Diese wiederum sind in Perioden untergliedert, zu denen die bekannten Bezeichnungen wie Trias, Jura oder Kreide gehören. Erfahren Sie mehr über wichtige Meilensteine des Lebens sowie über die sich verändernden Klimaverhältnisse unseres aktuellen erdgeschichtlichen Äons.

### 15 Die kambrische Radiation

Vor 541 Mio. Jahren

Den Übergang vom Proterozoikum zum Phanerozoikum markiert die kambrische Radiation - die rasche Zunahme der Vielfalt der Tiere unter Wasser. Die meisten in dieser Zeit entstandenen Tierstämme gibt es noch heute.

### 16 Bodenbildung

Vor 500 Mio. Jahren

Als sich die ersten Pflanzen zusammen mit Mikroorganismen an Land ausbreiteten, wurde aus nacktem Fels langsam fruchtbarer Boden. Mit ihren Wurzeln beschleunigten die Pflanzen die Verwitterung des Gesteins und bereiteten damit die Grundlage für ihre eigene

Ausbreitung und für Landökosysteme, wie wir sie heute vorfinden.

### 17 Unter Wasser

Im Ordovizium

Die ältesten bekannten kieferlosen Fischartigen (z. B. die Pteraspidomorphi) stammen aus dem frühen Ordovizium vor rund 450–470 Millionen Jahren.

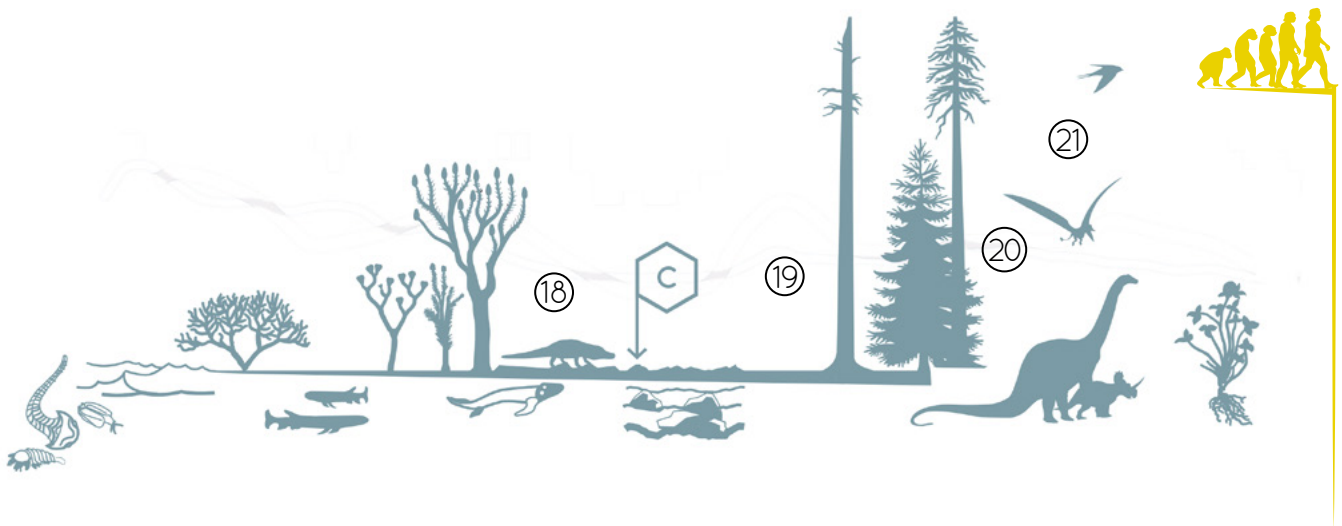
### 18 Erste Gefäßpflanzen

Vor 410 Mio. Jahre

Im späten Silur erscheinen die ersten Gefäßpflanzen an Land. Ihre Grundbauform "Wurzel, Sprossachse, Blatt" wird im Verlauf der weiteren Evolution der Landpflanzen zum Erfolgsmodell. Der größte Teil aller heute lebenden Landpflanzen haben diesen Körperbau.

# DAS PHANEROZOIKUM

## Zeitalter des sichtbaren Lebens



⑱

### Erste Vierfüßler an Land

Vor 375 Mio. Jahren

Nachdem sich bereits erste Gliederfüßer an Land ausgebreitet hatten, robbt im Devon der Urahn aller Landwirbeltiere, zu denen auch wir Menschen gehören, an die Ufer des Meeres.

⑲

### Steinkohlewälder

Vor 360 Mio. Jahren

Im Karbon sank der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre um ca. 20% im Vergleich zum vorhergehenden Devon, was zu einer globalen Abkühlung führte. Zu dieser Zeit existieren ausgedehnte Sumpfwälder aus Baumfarne, Bärlappen und Schachtelhalmen. Das abgestorbene Pflanzenmaterial, das den gespaltenen Kohlenstoff des  $\text{CO}_2$  enthält, wird im stehen-

den Wasser der Sümpfe nicht vollständig abgebaut, lagert sich als Torf ab und wird später vom Meer bedeckt. Im Laufe von Jahrtausenden wandeln Hitze und Druck den Torf in Steinkohle um, ein "fossiler Brennstoff", den wir Menschen heute zur Energiegewinnung abbauen und verbrennen, und der einen entscheidenden Anteil an der globalen Erwärmung hat.

⑳

### Nach dem großen Massensterben

Im Trias

Nachdem ca. 95% aller Lebewesen am Ende des Perm einem Massensterben erlegen waren, geht die Evolution neue Wege. So werden Nadelbäume zu Beginn des Mesozoikums die dominierenden Landpflanzen. Auch die ersten Blütenpflanzen breiten sich aus. Bei den Tieren

sind es vor allem Reptilien und Amphibien, die sich besonders stark ausbreiten.

㉑

### Die Zeit der Dinosaurier

Jura, Kreide

Als die Dinosaurier die Erde beherrschen, erscheinen in ihrem "Schatten" die ersten Säugetiere, eine warmblütige Tiergruppe mit Fell, die ihre Jungen mit Muttermilch versorgt. Als die meisten Dinosaurier aussterben, breiten sich die Säugetiere aus.

# DAS PHANEROZOIKUM

## Zeitalter des sichtbaren Lebens



②②

### Organismen düngen den Boden

Im frühen Känozoikum

Stickstoff ist für Pflanzen der wichtigste Nährstoff. Obwohl die Atmosphäre zu 78% aus gasförmigem Stickstoff ( $N_2$ ) besteht, handelt es sich dabei um eine knappe Ressource. Der Grund dafür ist, dass Pflanzen diese Form des Stickstoffs nicht verwerten können. Erst nachdem die Evolution stickstoffbindende Bakterien und Pilze hervorbrachte, konnten sich Landpflanzen massenhaft verbreiten.

Die Entwicklung einer Symbiose zwischen sogenannten Knöllchenbakterien und einer bestimmten Gruppe von Blütenpflanzen - den Hülsenfrüchtlern - im Känozoikum ist bis heute von grundlegender Bedeutung für die ökologische Basis des Landlebens, wie wir es heute kennen.

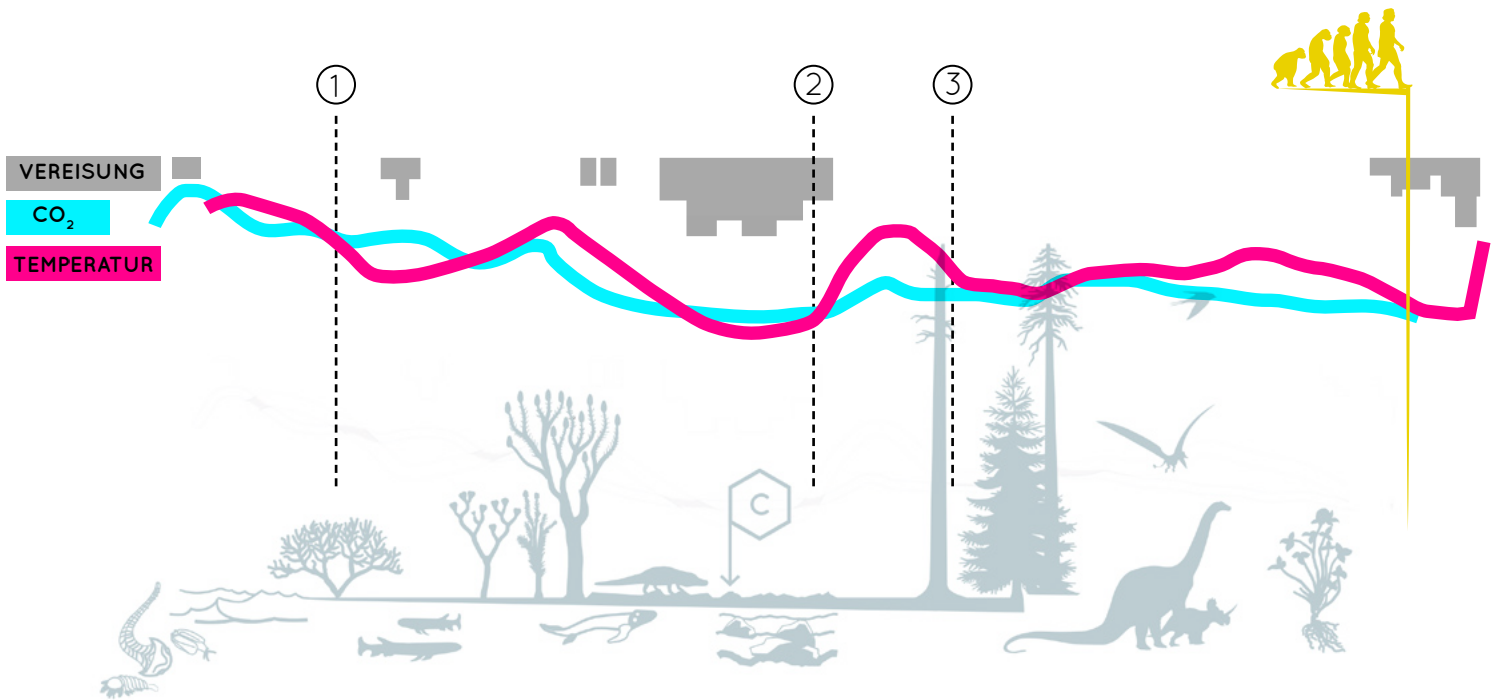
②③

### Auftreten des Menschen

Vor 2,5 Mio. Jahren

Erst im letzten Drittel des Känozoikums erscheint im östlichen Afrika der erste Vertreter der Gattung Mensch, *Homo rudolfensis*. Er ist im Vergleich zu den vormenschlichen Arten der Gattung Australopithecus gut an das Leben am Boden der Savanne angepasst. Er ist wahrscheinlich der Erfinder des Faustkeils und damit das erste Lebewesen, das planvoll Steinwerkzeuge herstellt und sein Wissen an die nachfolgenden Generationen weitergibt. Mit *Homo rudolfensis* beginnt die Steinzeit - die früheste Epoche der Menschheitsgeschichte.

# KLIMADATEN



Das Phanerozoikum weist eine sehr wechselvolle Klimageschichte auf mit drei ausgeprägt warmen und drei kalten Phasen. Die Klimaveränderungen stehen dabei häufig im engen Zusammenhang mit der Entwicklung des Lebens. Aber auch Vulkanausbrüche, Meteoriteneinschläge und die tektonische Bewegung der Kontinente waren Auslöser gravierender Veränderungen des Klimas sowie der Lebensbedingungen auf der Erde.

① Paläozoikum - Grenze zwischen Kambrium und Ordovizium

Die warme Phase am Ende des Proterozoikums setzte sich in den ersten 100 Millionen Jahren des Paläozoikums fort. Dann kommt es zu einer globalen Abkühlung, die im Ordovizium zur ersten größeren Vereisung

der Erde in diesem Erdzeitalter führt. Als Ursache gilt die Entwicklung der ersten Landpflanzen. Die Photosynthese der Pflanzen entzog der Atmosphäre das Klimagas Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), was den natürlichen Treibhauseffekt verminderte und damit die Temperatur senkte.

② Paläozoikum - Grenze zwischen Karbon und Perm

Nach der zweiten längeren Warmphase, die im Devon ihren Höhepunkt erreicht, folgt zum Ende des Paläozoikums eine der größten Vereisungen der gesamten Erdgeschichte - die Gondwana-Vereisung. Die Ursachen sind vielfältig: Einmal breiten sich im Karbon die großen Steinkohlewälder aus, so dass der Kohlenstoff des atmosphärischen CO<sub>2</sub> in die Pflanzen gelangt. Außerdem

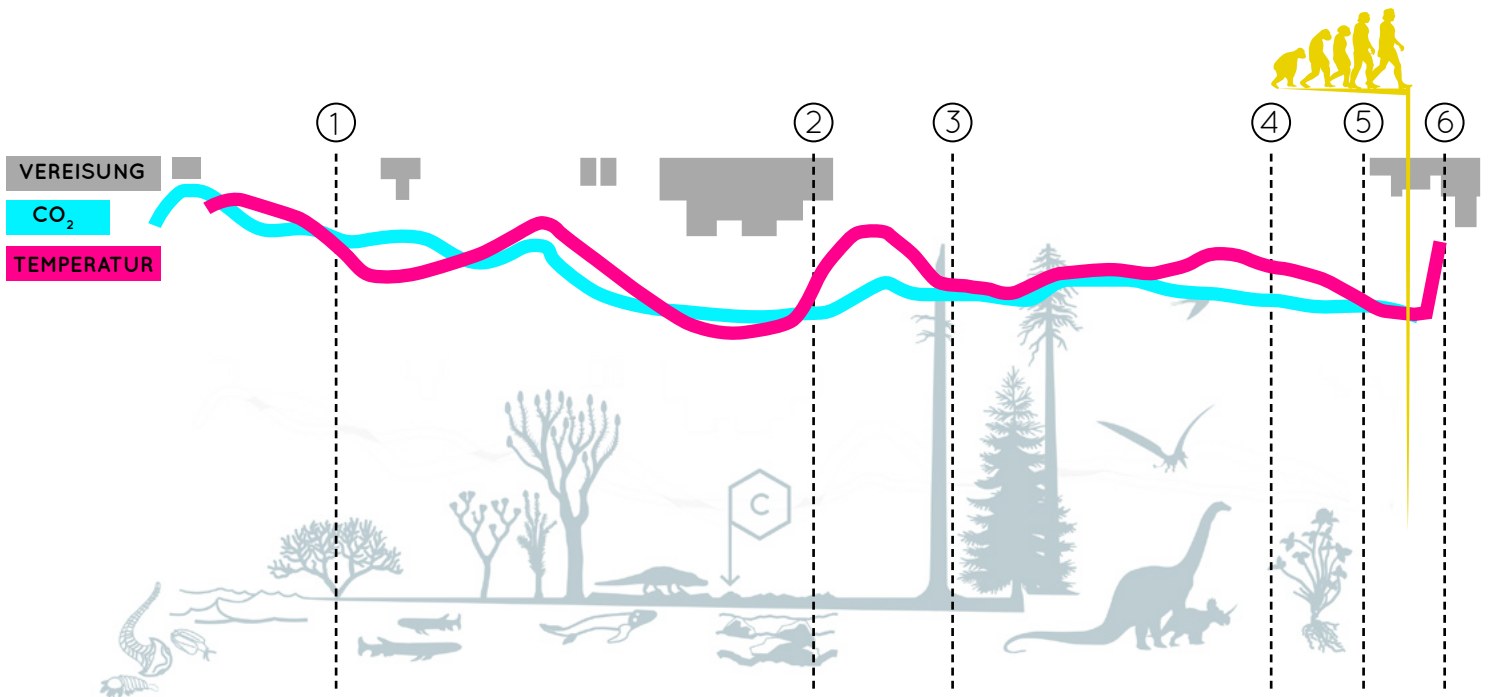
lässt der geringe Vulkanismus in dieser Zeit weniger CO<sub>2</sub> aus dem Erdinnern in die Atmosphäre ausgasen. Schließlich wanderten die Kontinente in den Bereich des Südpols, was niedrigere Sonneneinstrahlungswerte zu Folge hatte.

③ Grenze zwischen Paläozoikum und Mesozoikum

Zu Beginn des Trias befand sich das Weltklima wieder in einer extremen Warmphase. Dafür verantwortlich war die sich auf dem Land ausbreitende Tierwelt, die CO<sub>2</sub> produzierte und damit den Treibhauseffekt anheizte. Außerdem verstärkte das Auseinanderbrechen des Superkontinents Pangäa den Vulkanismus und damit den vulkanischen CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Drittens nahm die globale Sonneneinstrahlung wieder zu.



# KLIMADATEN



④ Grenze zwischen Mesozoikum und Känozoikum

Während des gesamten Mesozoikums hat es keine globalen Vereisungsphasen gegeben. Diese längste Warmzeit des Phanerozoikums endet mit dem großen Massensterben, bei dem etwa 65% aller Arten ausstarben. Als wahrscheinlichste Ursachen gelten die Folgen eines Asteroideneinschlags bzw. eine Reihe von gewaltigen Vulkanausbrüchen, die zu einer globalen Erwärmung sowie zu einer Versauerung der Ozeane führten.

⑤ Känozoikum

Im Känozoikum hat sich das globale Klima von einem sehr warmen Zustand des Mesozoikums mit eisfreien Polen zu einem sehr kalten Klima unseres gegenwärtigen Eiszeitalters (dem Quartär) mit den uns bekannten polaren Eiskappen gewandelt. Ein Weltklima, das die Evolution des Menschen begleitete.

⑥ Globale Erwärmung im Anthropozän

Vor allem das stabile Klima des Holozäns (der letzten 11.700 Jahre bis heute) gilt als ein wichtiger Faktor für die zivilisatorische Entwicklung der Menschheit auf der Erde. Nach den aktuellen Modellrechnungen des Weltklimarats der Vereinten Nationen (IPCC) könnte sich das Klima bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um bis zu 4 bis 5° Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Niveau erhöhen. Einen solchen Zustand hat es, in der erdgeschichtlich kurzen Zeit, in der Menschen auf der Erde existieren, nie gegeben.

# IMPRESSUM

## IM AUFTRAG DER BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG

### **Konzeption und Text:**

Mathis Kückens

Universität Zürich

Anthropocene Learning Lab ( <http://anthropocene.education> )

### **Konzeption und Visualisierung:**

Silke Albrecht

Alexander Partl

thinkingparticles.de

### **Idee und Redaktion:**

Caroline Seige (BpB)

Tobias Asmuth

asmuth-journalist.de

## HINWEISE ZUR VERWENDUNG

Sie können die Grafiken und Texte unter den Bedingungen der Creative Commons-Lizenz by-nc-nd/3.0 verwenden. Sie dürfen in diesem Rahmen die Grafiken und Texte z.B. vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen - z.B. im Schulunterricht, auf Ihrer Internetseite oder anderen Publikationen.

### **Beachten Sie dabei jedoch:**

- Sie müssen die Namen der Autor\*innen und des Rechteinhabers ("Bundeszentrale für politische Bildung, [www.bpb.de](http://www.bpb.de)) nennen.
- Die Quellen der jeweiligen Themen müssen immer mit angegeben werden.
- Sie dürfen die Grafiken und Texte nicht für kommerzielle Zwecke verwenden.
- Sie dürfen die Grafiken und die Texte nicht bearbeiten, abwandeln oder in anderer Weise verändern.





# QUELLEN

Purves, W. K., Sadava, D., Orians, G., & Heller, H. C. (2010). *Biologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Kasang, D.: Das Klima im Phanerozoikum. Abgerufen unter:  
<http://bildungsserver.hamburg.de/klimageschichte/2047210/das-phanerozoikum/>