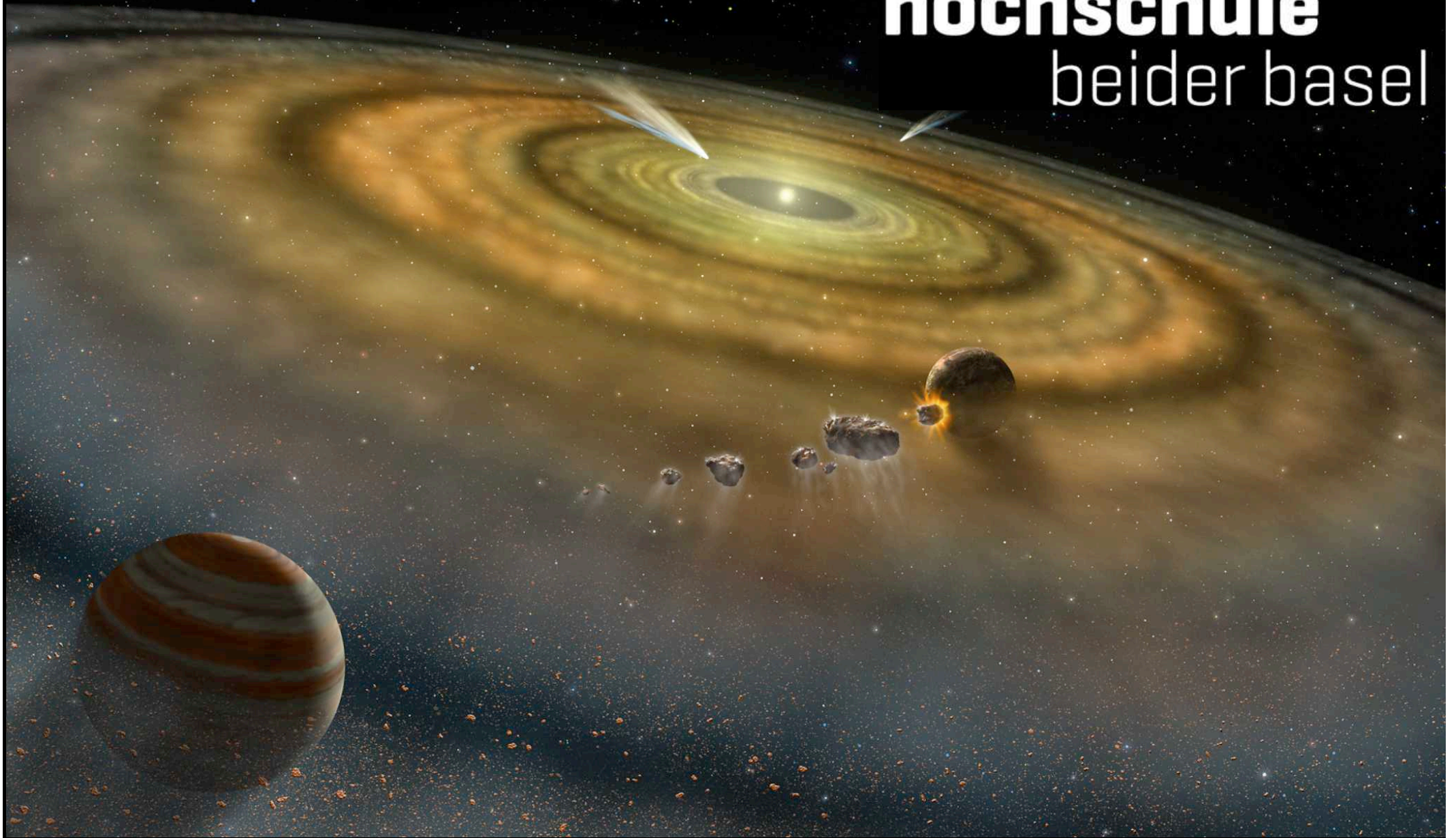


**volks—
hochschule**
beider basel



Renée Heilbronner **Faszination Plattentektonik**

... zurück zum Anfang !

6. November (1) Unsere Erde: ein ganz spezieller Planet.

Wir werden uns als erstes mit dem Aufbau der Erde und dem Konzept der Lithosphärenplatten vertraut machen. Auf einem Rundgang um die Eurasische Platte, entlang verschiedener Typen von Plattengrenzen (konstruktiver, destruktiver und konservativer) werden wir unsere eigene und unsere Nachbarplatten kennen lernen.

13. November (2) Plattentektonik in Aktion: Dynamik im grossen Stil

Plattentektonik macht sich vor allem an den Plattengrenzen bemerkbar. Vulkanismus und Erdbebenaktivität sind typische Begleiterscheinungen. Plattentektonik ist aber auch eine wichtige Voraussetzung für unser Leben auf der Erde. Durch den Kohlenstoff-Kreislauf, den sie aufrecht erhält, trägt sie wesentlich zum Erhalt lebensfreundlicher Bedingungen bei.

20. November (3) Lebensfreundliches Universum - lebensfreundlicher Planet

Die Erde war nicht von Anfang der lebensfreundliche Planet, den wir heute kennen. Sowohl die Kontinente als auch die Ozeane und vor allem die Atmosphäre mussten sich erst entwickeln. Wir werden die Entwicklung der Erde nachvollziehen - von der Entstehung des Universums, dem Big Bang, bis heute. Dabei werden wir sehen, wie eng die tektonische Entwicklung unseres Planeten und die Entwicklung des Lebens von einander abhängen.

27. November (4) Plattentektonik vor unserer Haustür

Zum Abschluss schauen wir uns an, welche Spuren die letzten 200 Millionen Jahre Plattentektonik in der Schweizer Landschaft hinterlassen haben: was bei der Kollision der afrikanischen und der eurasischen Platte entstanden ist, was vom Ozeanboden des Tethys-Ozeans noch übrig ist, und welche Plattenbewegungen wir heute noch spüren.

die Geschichte von Goldilocks



"... der Porridge in der ersten Schüssel ist viel zu heiss, der in der zweiten viel zu kalt, aber der in der dritten Schüssel, der ist genau richtig ..."

"... der erste Stuhl ist viel zu hart, der zweite ist viel zu weich, aber der dritte Stuhl, der ist genau richtig ..."

"... das erste Bett ist viel zu hart, das zweite ist viel zu weich, aber das dritte Bett, das ist genau richtig ..."

das Goldilocks Prinzip

Astrobiologie:

Goldilocks Zone = Lebenszone (habitable zone) = Abstandsbereich, in dem sich ein Planet von seinem Zentralgestirn befinden muss, damit Wasser als Voraussetzung für erdähnliches Leben auf der Oberfläche vorliegen kann.

Stephen Hawking: "like Goldilocks, the development of intelligent life requires that planetary temperatures be 'just right'".

Seltene Erde Hypothese:

Zur Erhaltung von Leben darf ein Planet - laut Goldilocks Prinzip - weder zu weit weg noch zu nah an einem Zentralgestirn sein.

Peter Ward & Donald Brownlee: Rare Earth: Why Complex Life Is Uncommon in the Universe

Astrophysik:

Die Existenz eines Universums - anstelle eines (postulierten) Multiversums verdankt sich dem Goldilocks Prinzip.

Paul Davies: "observers arise only in those universes where, like Goldilocks's porridge, things are – by accident – 'just right'".

Goldilock ist auch Goldi-Luck

die ersten drei Minuten des Universums

Inflation:

10^{-33} s bis 10^{-30} s: Ausdehnung des Universums von \ll Durchmesser Proton auf etwa 10 cm.

Goldilock: Universum \neq Multiversum

Quark-Ära:

Nach $\sim 10^{-30}$ s: $T = 10^{25}$ K. Primordiale Nukleosynthese, Bildung von Quarks, Antiquarks (Baryogenese), Quark-Gluonen - Plasma.

Nach 10^{-6} s $T = 10^{13}$ K: Quarks vereinigen sich zu Hadronen (Bausteine der Atomkerne).

Nach 10^{-4} s $T = 10^{12}$ K: keine Proton-Antiproton- oder Neutron-Antineutron-Paare mehr. Dichte sinkt auf 10^{16} kg/m³.

Hadronen-Ära:

Mit abnehmender Temperatur zerfallen schwerere Hadronen - es bleiben Protonen und Neutronen sowie ihre Antiteilchen. Große Zahl von Neutrinos.

Nach 1 s $T = 10^{10}$ K: Protonen werden nicht mehr in Neutronen umgewandelt.

Nach 10 s $T < 10^9$ K: Kernfusion = ersten Deuterium-Atomkerne, daraus Helium-4-Kerne.

Nach ~ 3 Minuten $T < 10^8$ K: Kernfusion. Freie Neutronen zerfallen in Protonen und Elektronen.

Zusammensetzung: 75 % Wasserstoff (H), 25 % Helium (He).

13.7 Ga = 13'700 Ma = 13'700'000'000 Jahre

Alle schwereren Elemente entstehen erst viel später im Inneren von Sternen.

3 Minuten

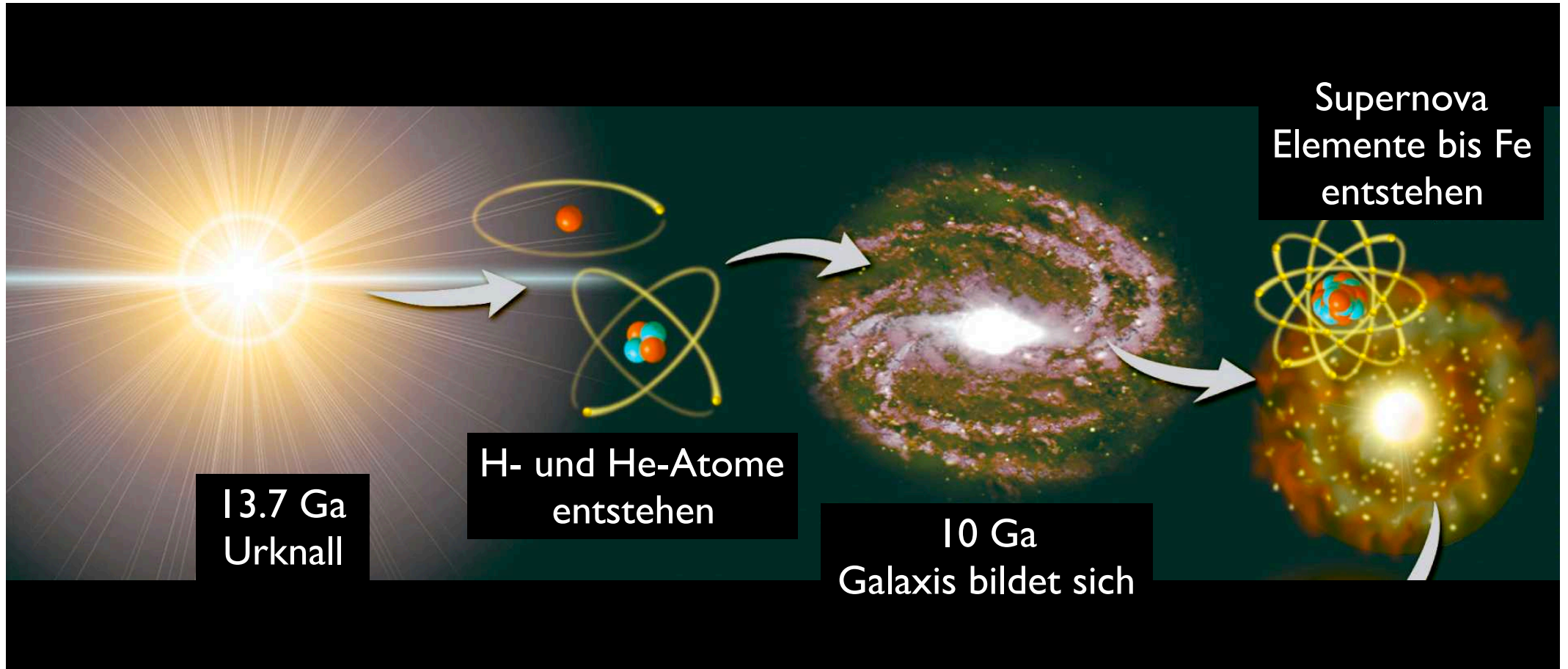
400 Millionen Jahre

Inflation

Erste Sterne
nach 400 Ma

heute

vom Big Bang zur Supernova

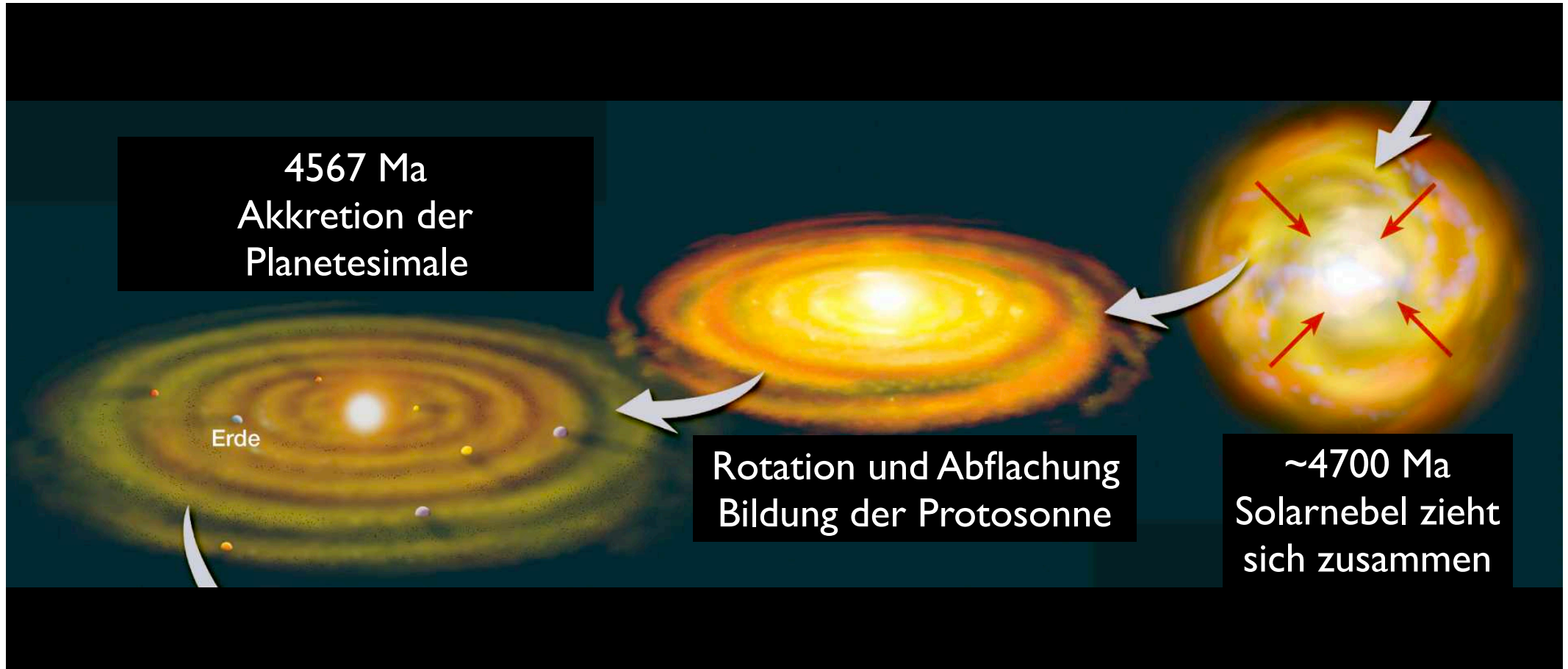


1 Ga = 1 Gigajahr = 10^9 Jahre = 1'000'000'000 Jahre

1 Ma = 1 Megajahr = 10^6 Jahre = 1'000'000 Jahre

(a = annum = Jahr)

von der Supernova zum Sonnensystem

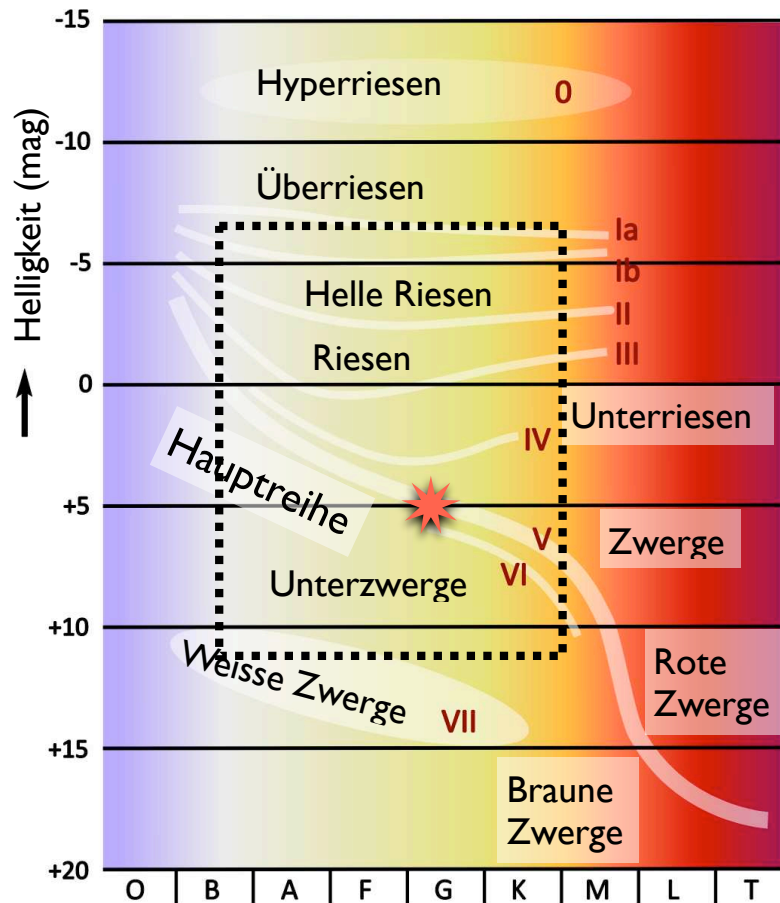


1 Ga = 1 Gigajahr = 10^9 Jahre = 1'000'000'000 Jahre

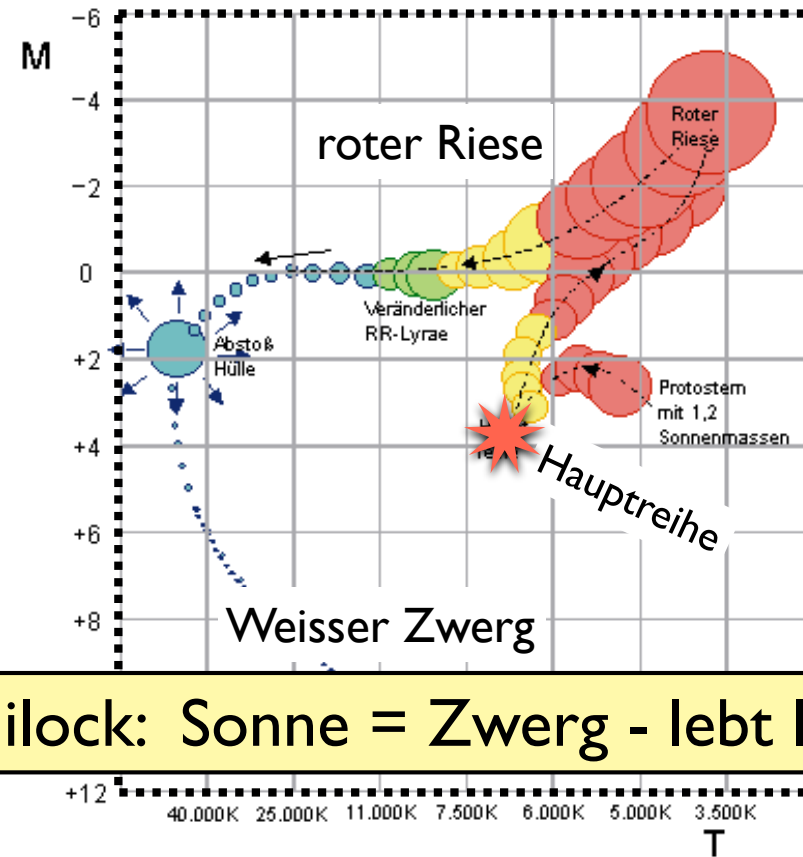
1 Ma = 1 Megajahr = 10^6 Jahre = 1'000'000 Jahre

(a = annum = Jahr)

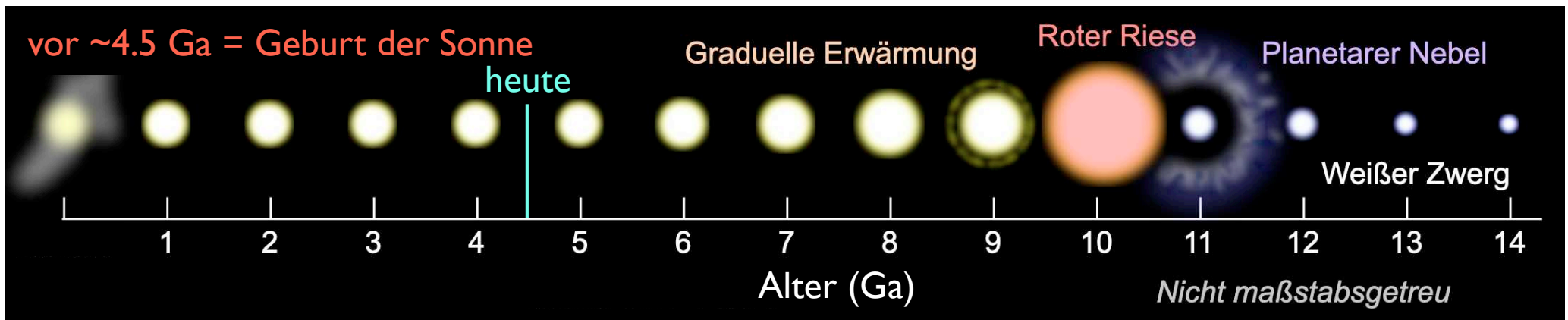
die Sonne, ein Zwergstern in der Hauptreihe



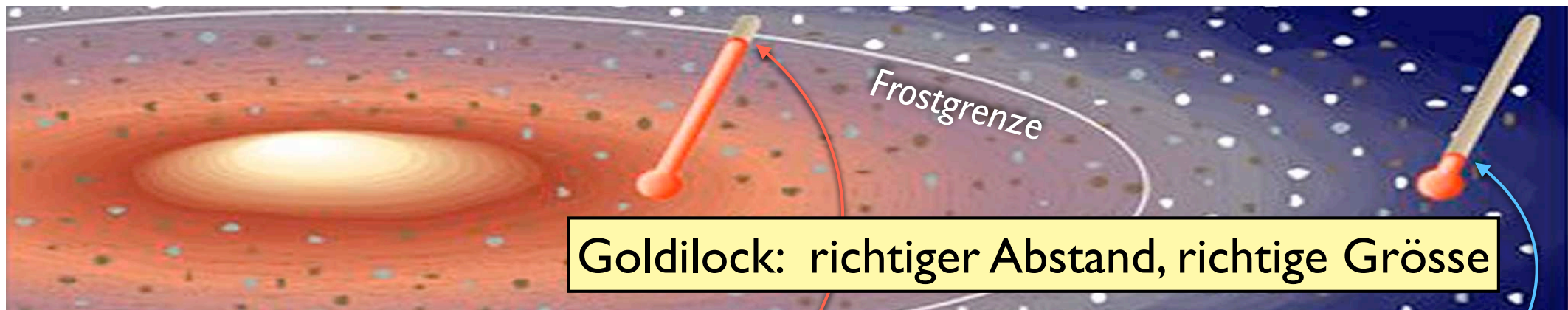
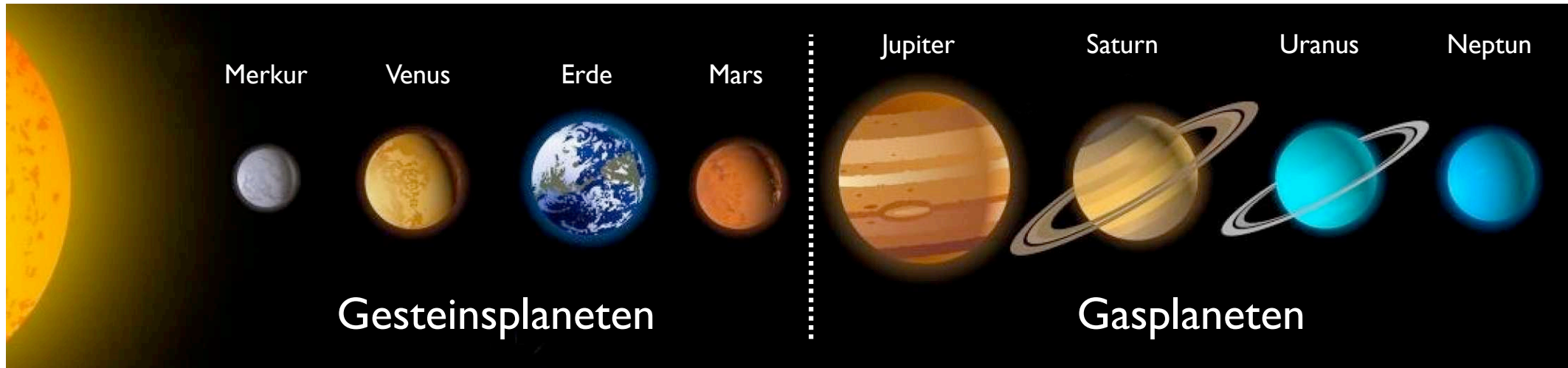
zukünftige Entwicklung



Goldilock: Sonne = Zwerg - lebt länger



Elemente werden auf Planeten verteilt



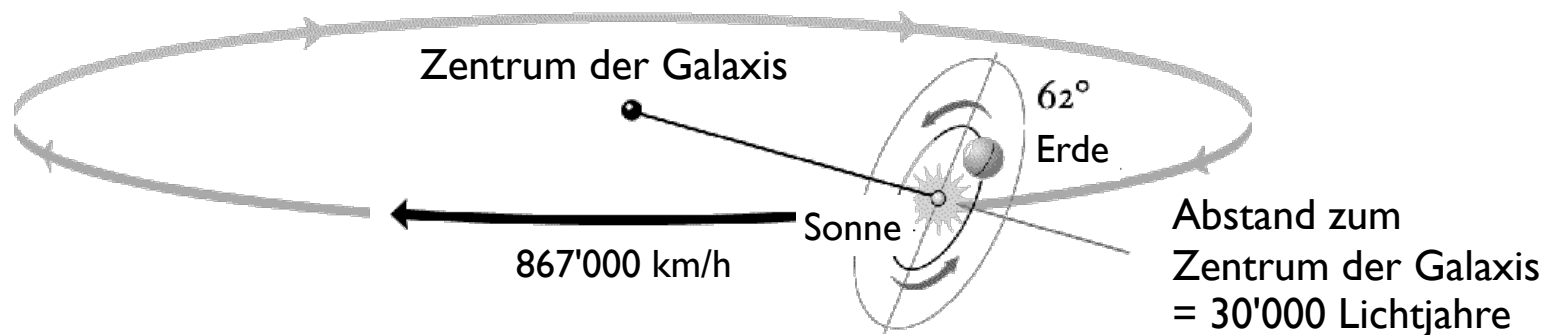
nahe bei der Sonne:
herrschen **hohe Temperaturen**
H-Verbindungen bleiben gasförmig,
Mineralien und Metalle kondensieren
(Gas → Festkörper, bzw. Staub).

weit entfernt von der Sonne:
herrschen **tiefe Temperaturen**
auch H-Verbindungen, sowie
Mineralien und Metalle kondensieren
(H₂O Gas → Eis).

unsere Galaxis - die Milchstrasse, ...



Durchmesser $\sim 100'000$ Lichtjahre $\approx 10^{18}$ km
Höhe ~ 1000 Lichtjahre $\approx 10^{16}$ km
enthält $1-3 \cdot 10^{11}$ (=100 - 300 Milliarden) Sterne



grosse Zahlen:	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}	10^{24}
	Mega	Giga	Tera	Peta	Exa	Zetta	Yotta

... und unser Sonnensystem, ...



Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	Pluto	vor 2006
Mein	Vater	erklärt	mir	jeden	Sonntag	unsere	neun	Planeten	

Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun		seit 2006
Mensch,	verachte	einen	Mann in	seinem	Unglück	nie			

...im Masstab $1:10^{16}$ (= $1:10'000'000'000'000'000$)



Galaxis

$d = 10^{18}$ km

$h = 10^{16}$ km

200 Mrd Sterne

Sonnensystem

(inkl. Pluto bzw.
Kuiper-Gürtel)

$d = 10^{10}$ km = 10 Mrd km

Sonne

$d = 10^6$ km = 1 Mio km

Erde

$d = 10^4$ km = 10'000 km

Schneegestöber (sehr verdünnt...)

100 km

1 km (Volumen = $10'000$ km³)

200 Mrd Flocken (Dichte $\sim 1/50$ m³)

Schneeflocke (winzig)

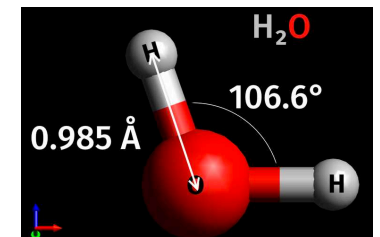
$d = 1$ mm

winziger Eiskristall (unsichtbar)

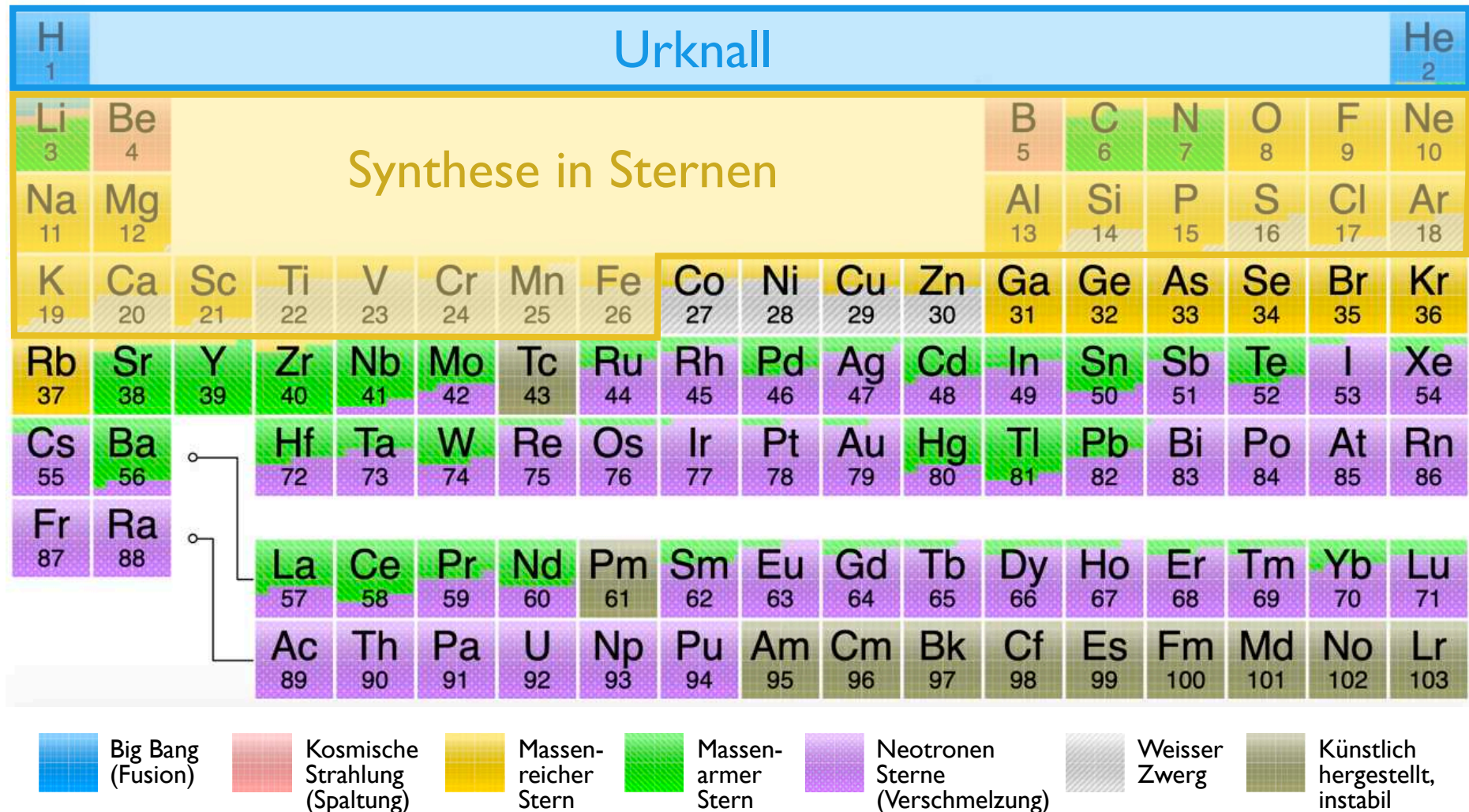
$d = 100$ nm = 0.1 μ m

ein Wassermolekül

$d = 1$ nm (= 10 Å) =



Chemie des Universums



Sterne wirken als "Element-Fabriken"

kleine Sterne¹⁾: Elemente mit $N < 6$

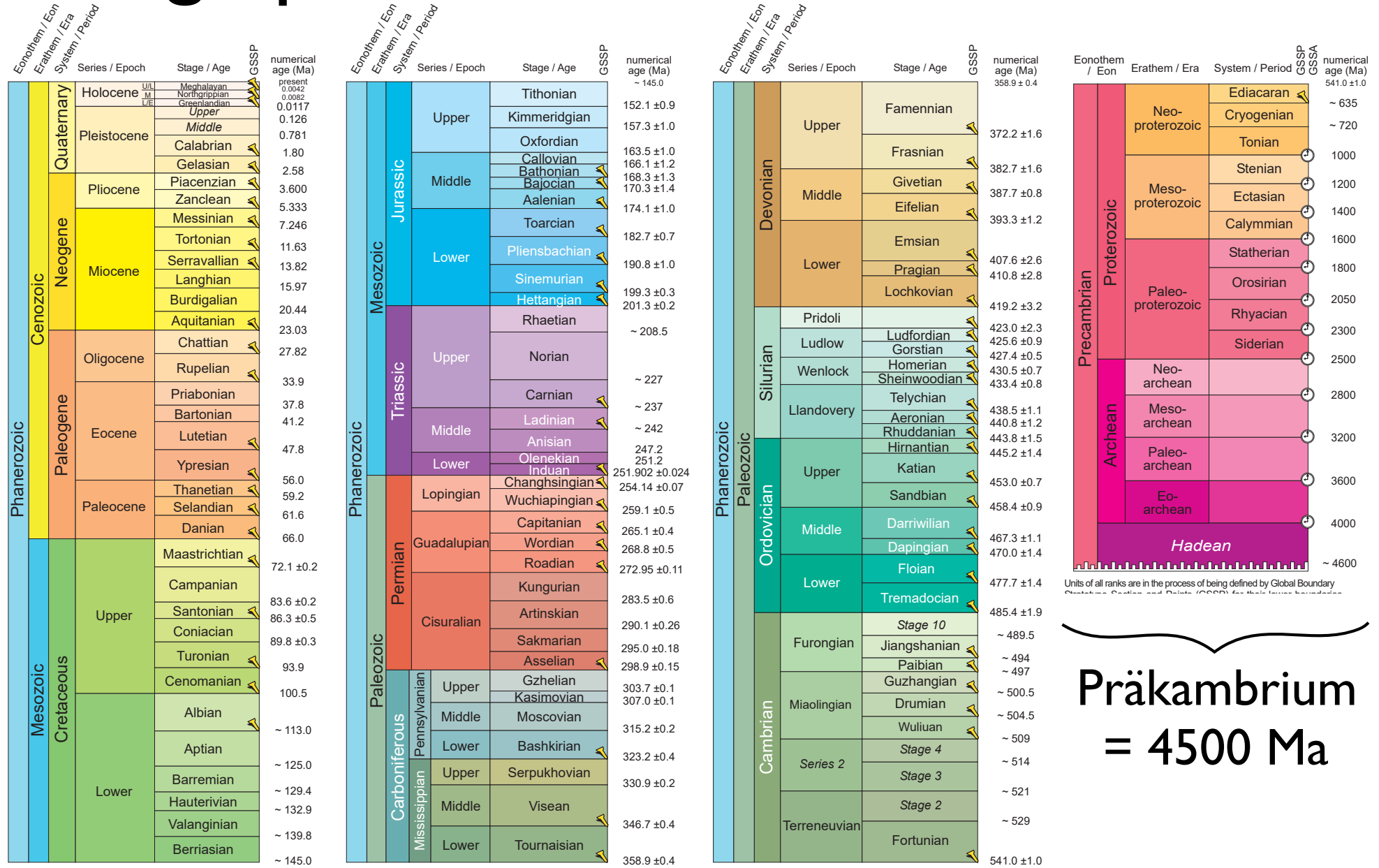
grosse Sterne²⁾: Elemente mit $N < 26$

schwerere Elemente ($N > 26$) werden

in Supernova - Explosionen synthetisiert

¹⁾ Lebensdauer = 10 Ga ²⁾ Lebensdauer = 20 Ma

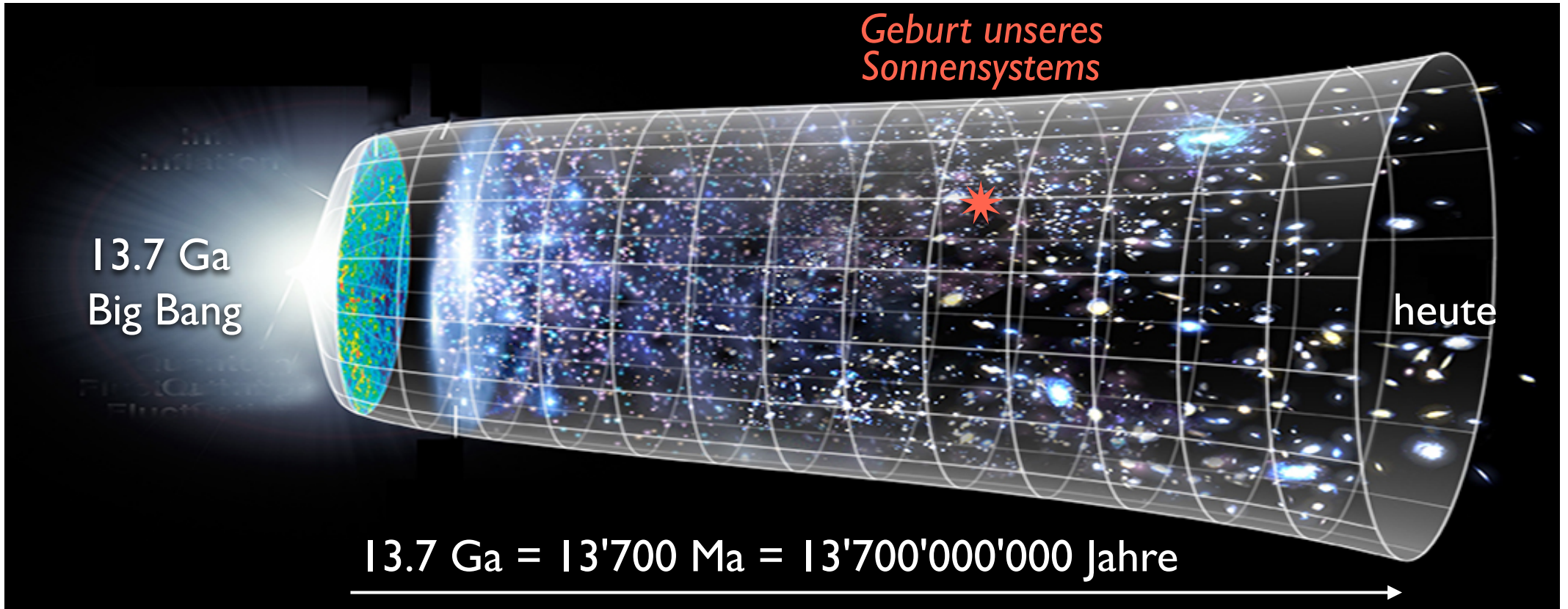
stratigraphische Tabelle



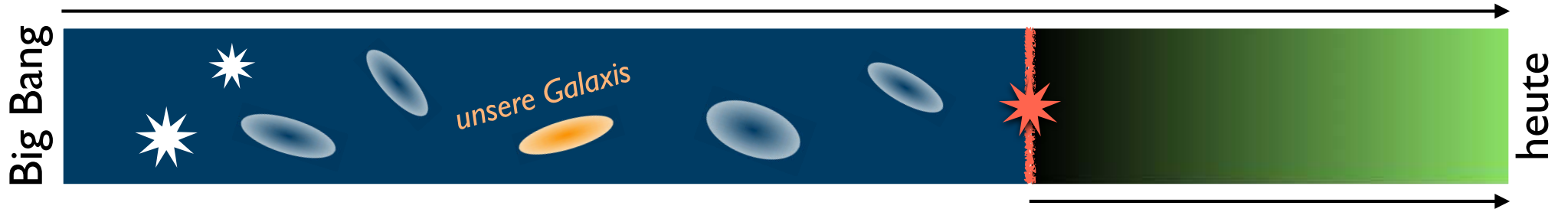
Phanerozoikum = 500 Ma

Präkambrium
= 4500 Ma

geologische Zeiträume

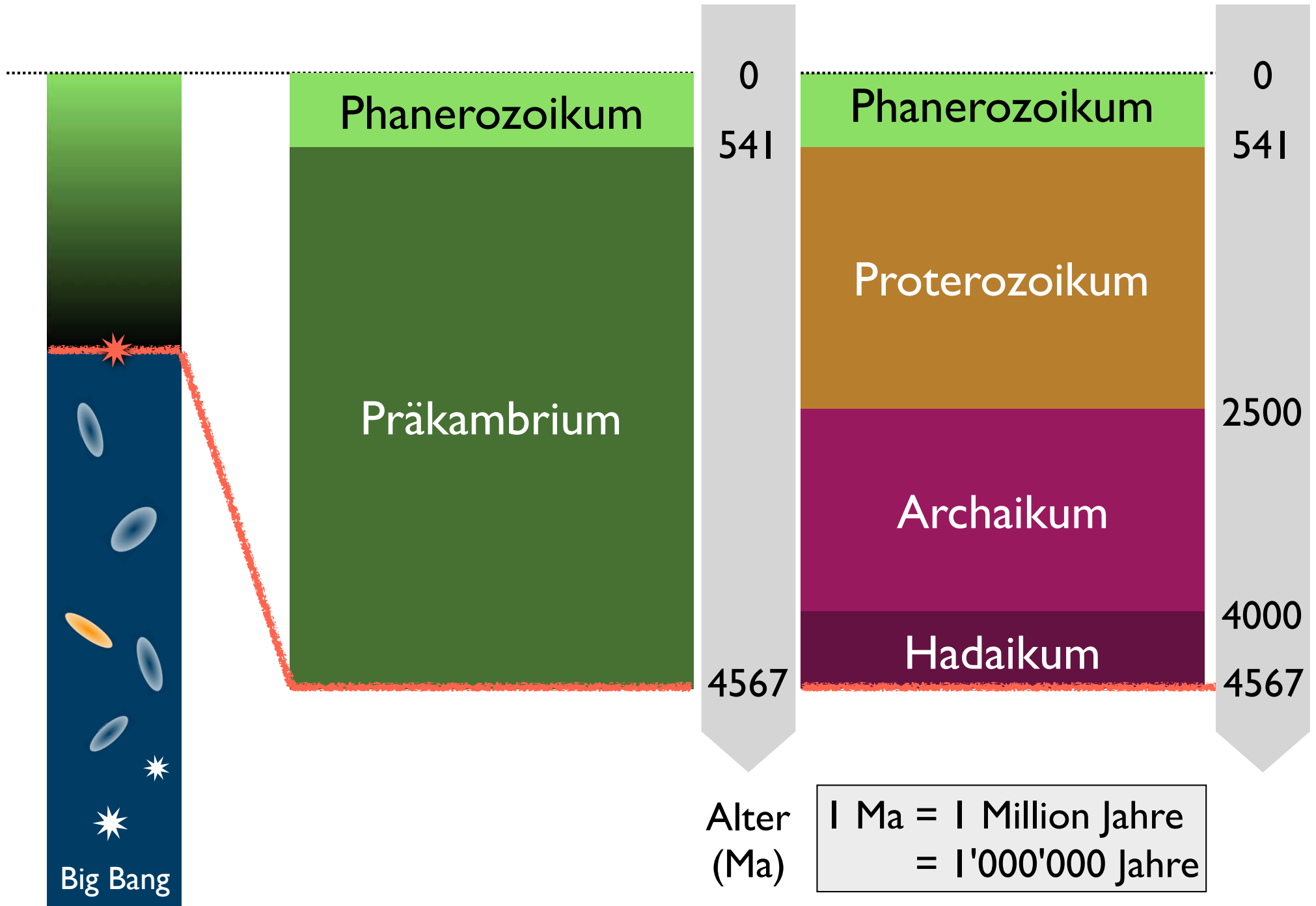


Universum = 13.7 Ga = 13'700 Ma

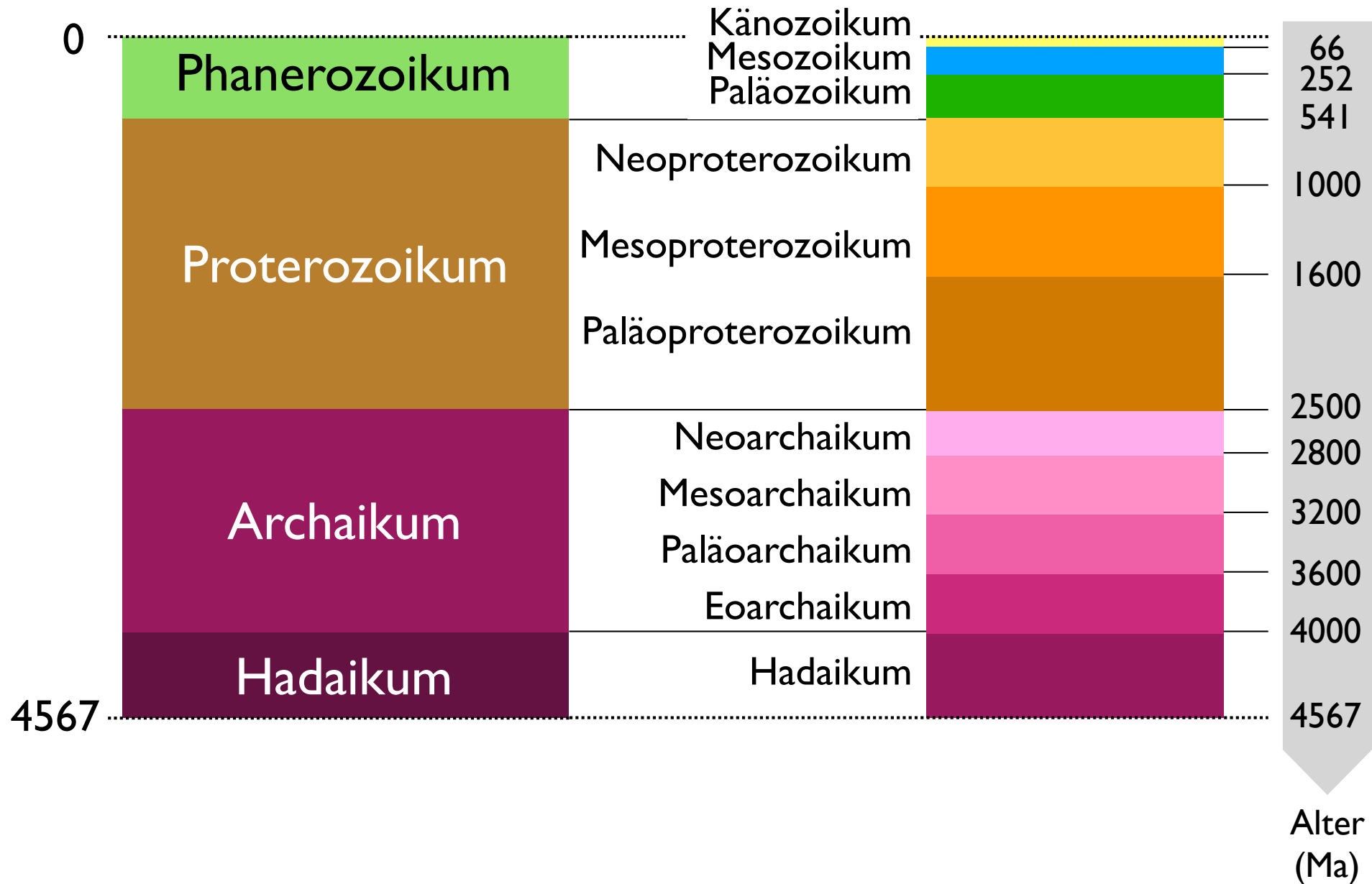


Erde = 4.567 Ga = 4567 Ma

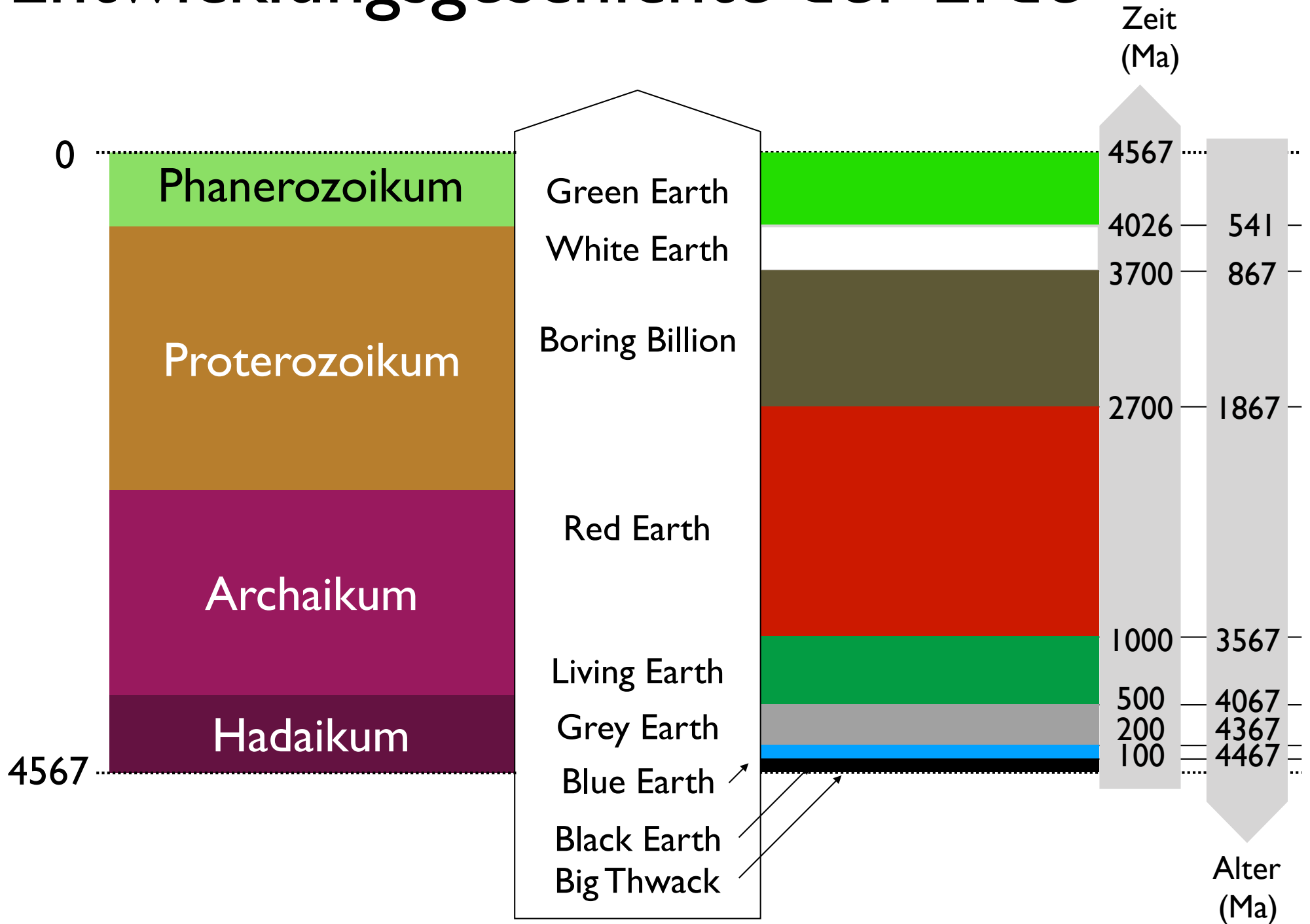
unsere Erde in kosmischen Zeiträumen



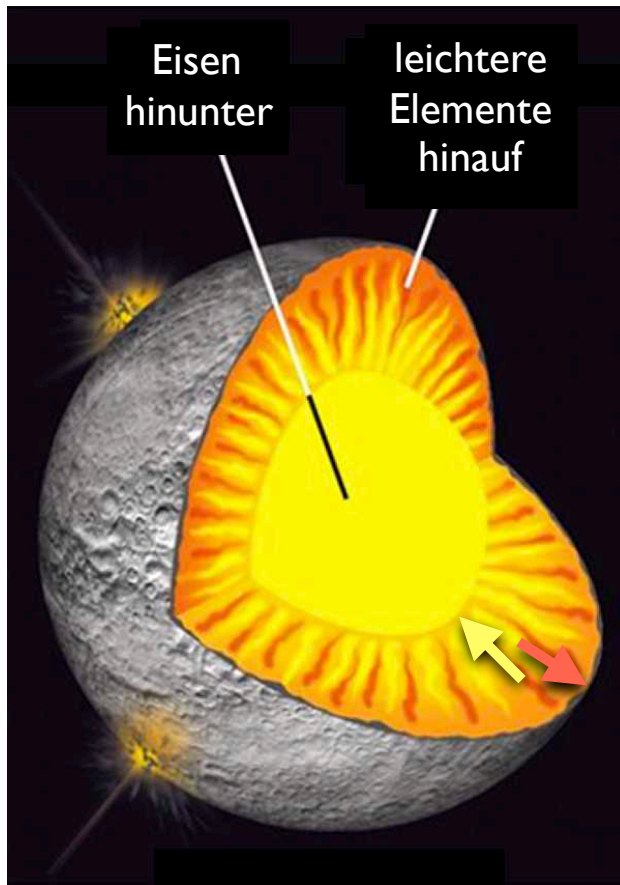
geologische Zeitalter der Erde



Entwicklungsgeschichte der Erde



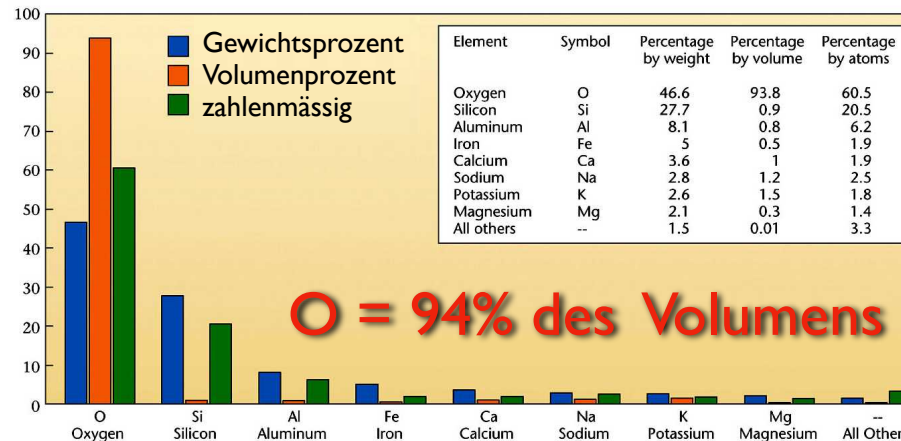
0 Ma Differenzierung



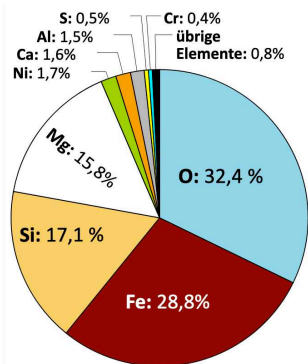
Erde

Z	Element	Masse (%)
1	H Wasserstoff	-
2	He Helium	-
Urknall		
8	O Sauerstoff	32.300
26	Fe Eisen	28.700
14	Si Silizium	17.100
12	Mg Magnesium	15.700
28	Ni Nickel	1.700
20	Ca Kalzium	1.500
13	Al Aluminium	1.400
16	S Schwefel	0.450
24	Cr Chrom	0.350
	Rest	0.800

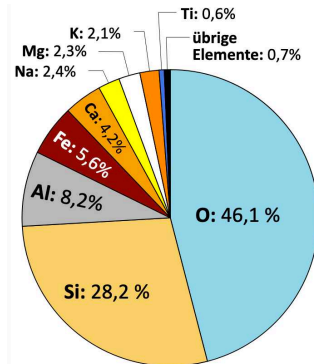
Synthese in Sternen



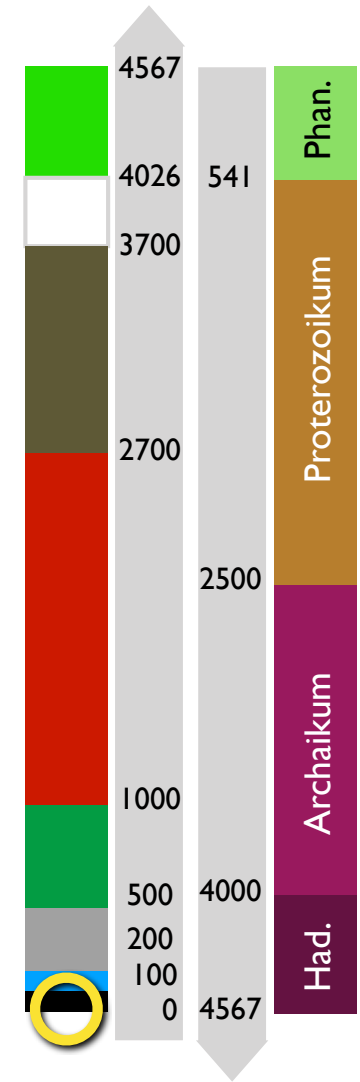
Marshak: Earth - Portrait of a planet



Erde



Kruste



0-50 Ma Erde-Mond



Goldilock:
Kollisison \neq frontal

Ur-Erde: schwarze Kugel, Magmaozean

Schräge Kollision: Theia vaporisiert, Fe regnet auf Erde

Akkretion \rightarrow Mond in 20'000 km Entfernung (heute 384'400 km)

Resultat: Erde grösser als Ur-Erde, Mond kleiner als Theia

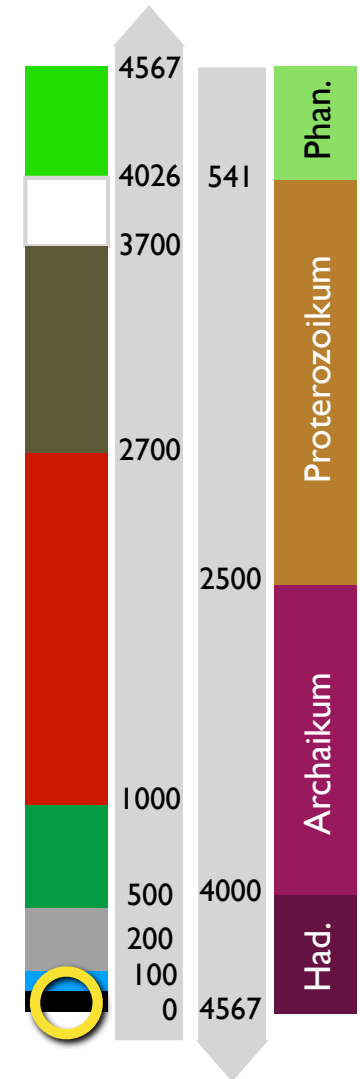
Erde: Rotation = 5h, Umlaufzeit (Sonne) \Rightarrow 1 Erdjahr = 1750 Tage

Mond: Umlaufzeit (Erde) = 84h

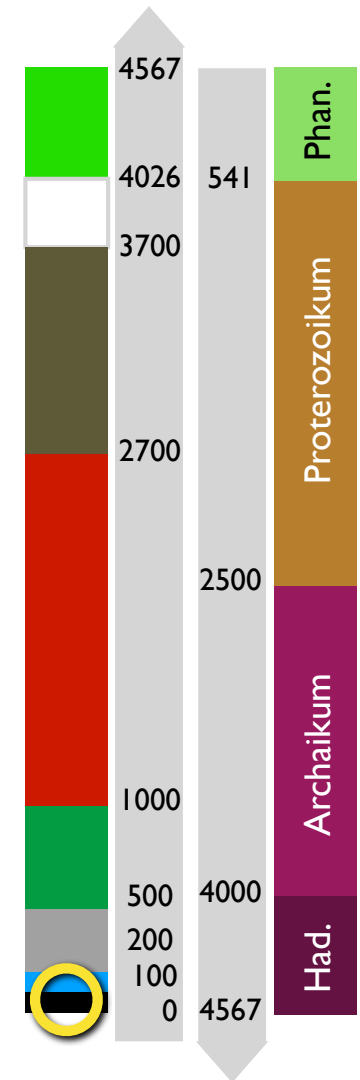
heute Erde: Rotation = 24h, Umlaufzeit (Sonne) \Rightarrow 1 Erdjahr = 365 Tage

Mond: Umlaufzeit (Erde) = 29 Tage

Erde-Mond-System \Rightarrow Magma-Gezeiten



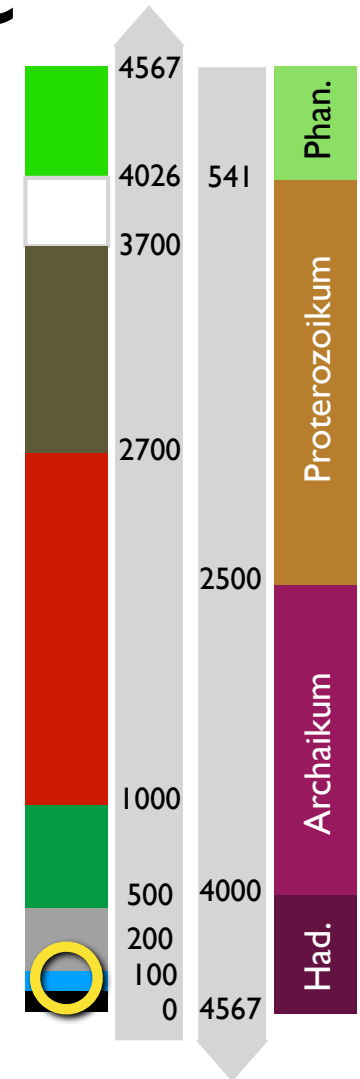
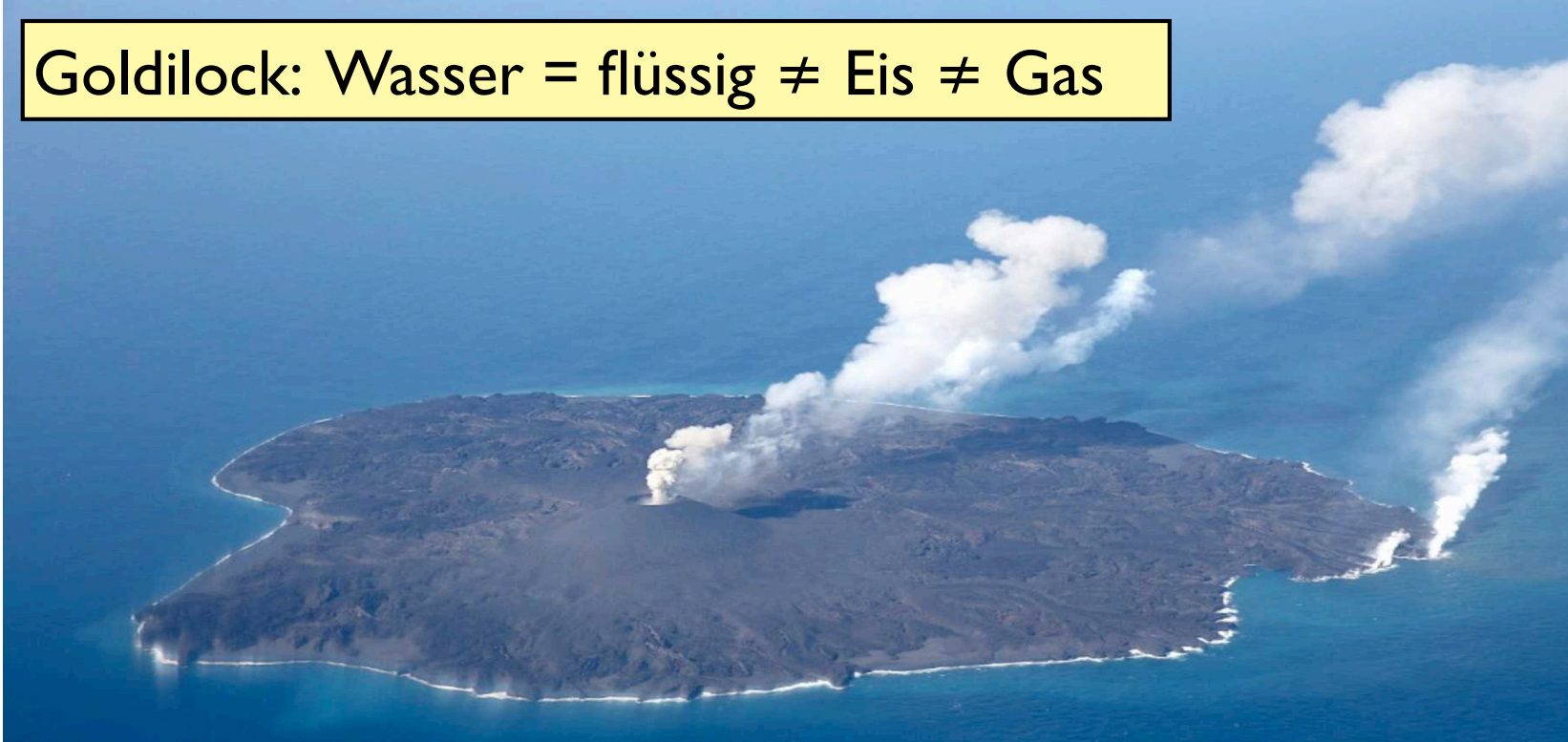
50-100 Ma basaltische Kruste



The Big Six - bilden 98% der Masse der Gesteinsplaneten;
 O (Elektronen-Akzeptor), Si, Al, Mg, Ca (Elektronen-Donor),
 Fe (Metall) reagieren - Bsp. SiO_2 = wichtigste Verbindung.
 Magma → Abkühlung → Fraktionierte Kristallisation (ab 1700°C)
 1. Olivin (dichter als Magma, sinkt), 2. Anorthit (leichter, s. Mond),
 3. Pyroxen und Plagioklas → Basaltkruste (schwimmt)

100-200 Ma - Bildung der Ozeane

Goldilock: Wasser = flüssig \neq Eis \neq Gas



H₂O in Mineralien gebunden

(Grossteil des Wassers im Erdmantel nicht in den Ozeanen).

Abkühlung → Entgasung → Bildung von Oberflächenwasser.

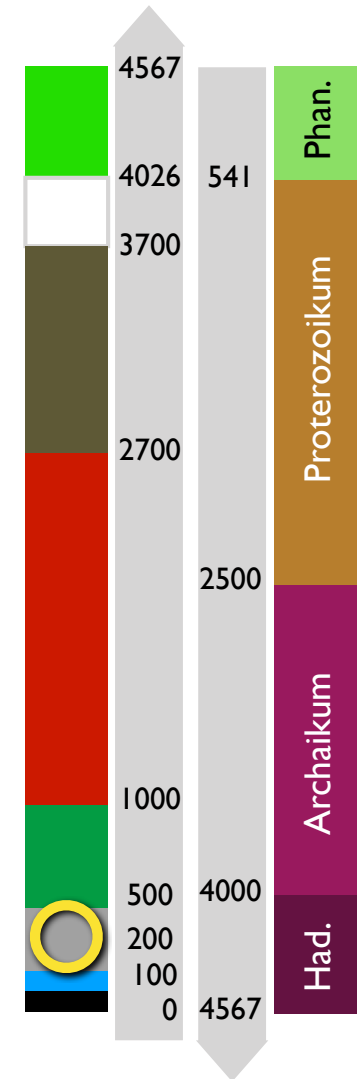
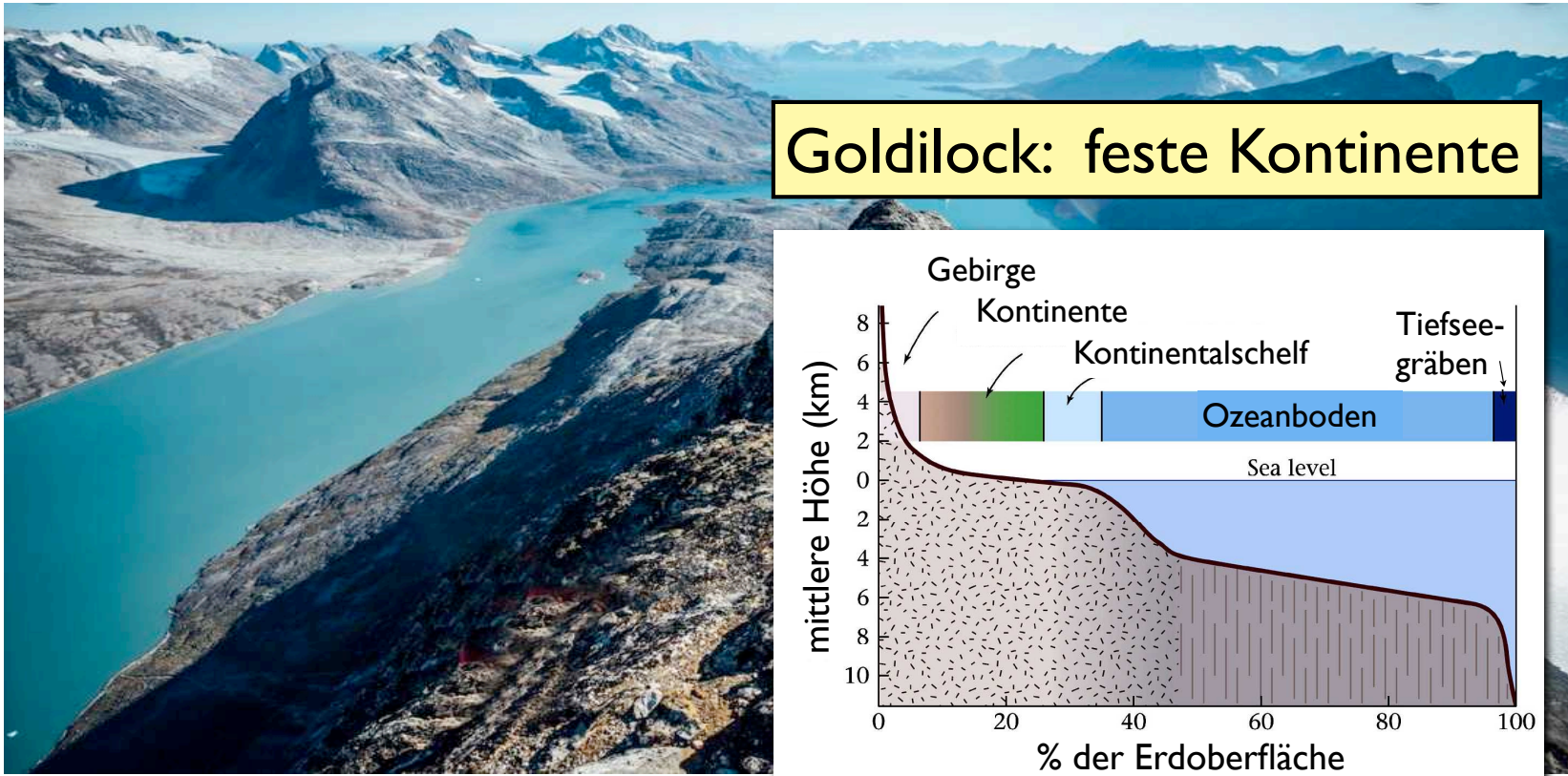
Wasser bedeckt gesamte Erde

Vulkanismus (Mantle Plumes → Hotspots, Vulkaninseln, Minikontinente

Warum verdampft Wasser nicht, warum gefriert es nicht?

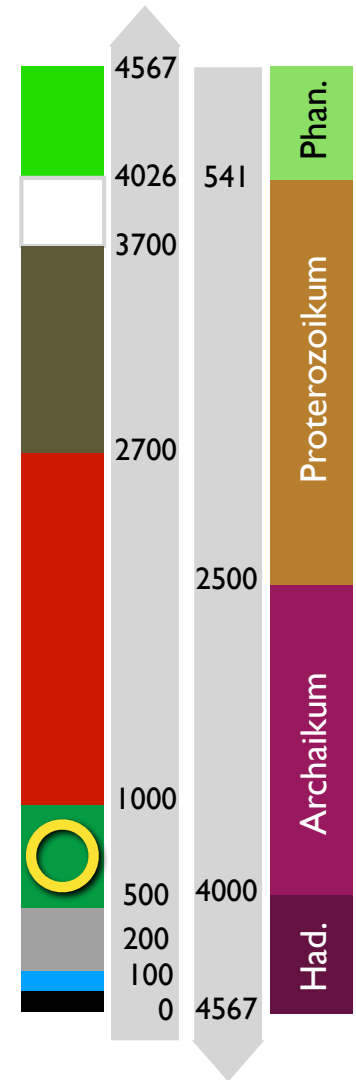
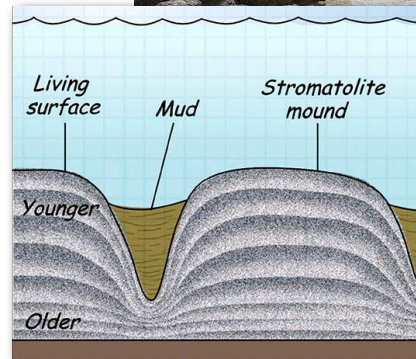
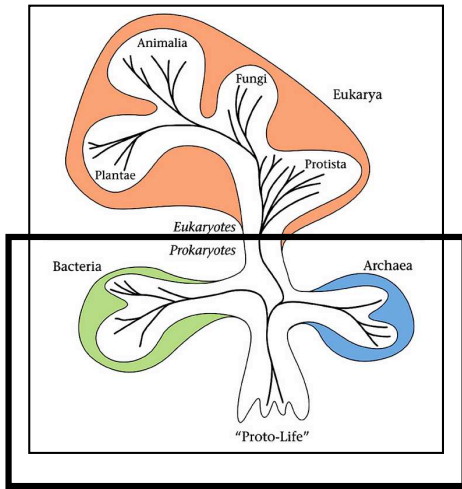
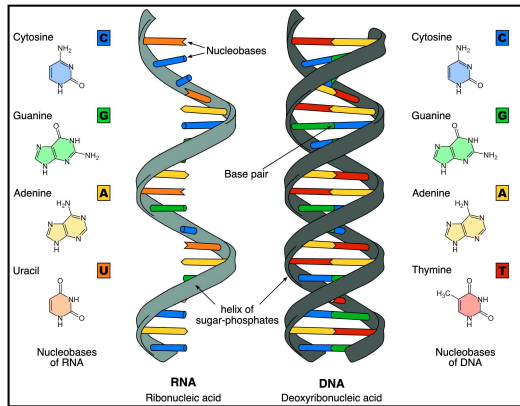
- Sonne schwach ...?
- Treibhauseffekt durch CO₂ CH₄ ...?
- schwarze Erde absorbiert mehr Licht, d.h. Wärme ...?

200-500 Ma - granitische Kruste



- Mantle Plumes → Basaltinseln
- gelegentlicher Asteroid schlägt ein → Magmasee
- Basalt-deckel von unten aufgeheizt, Wasser senkt Schmelzpunkt
- Silikatreiche, leichte Schmelze steigt auf
- granitische Kruste, Minikontinente werden dicker und grösser
- Hotspot weicht aus
- Plattentektonik setzt ein → 2 Höhenlagen: Land - Meer

500-1000 Ma - Leben entsteht



Leben entsteht:

4.2 Ga präbiotisch

4.0 Ga prä-RNA

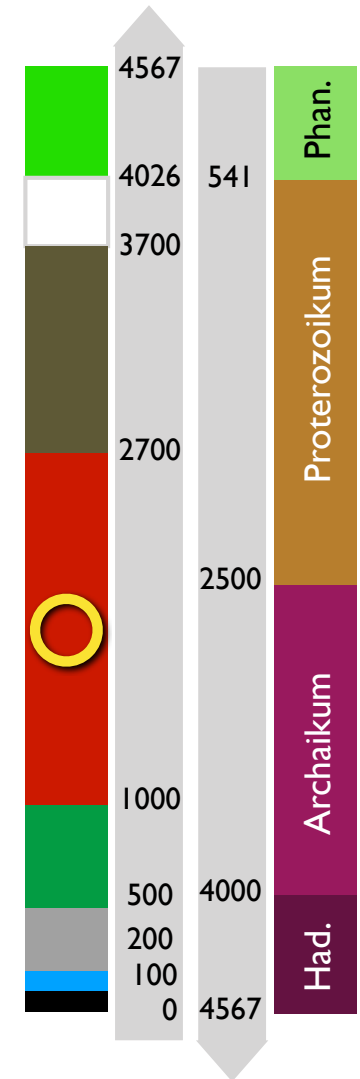
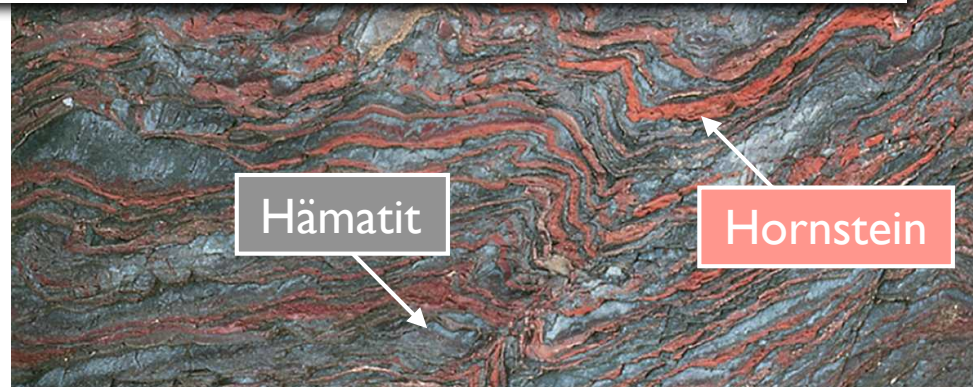
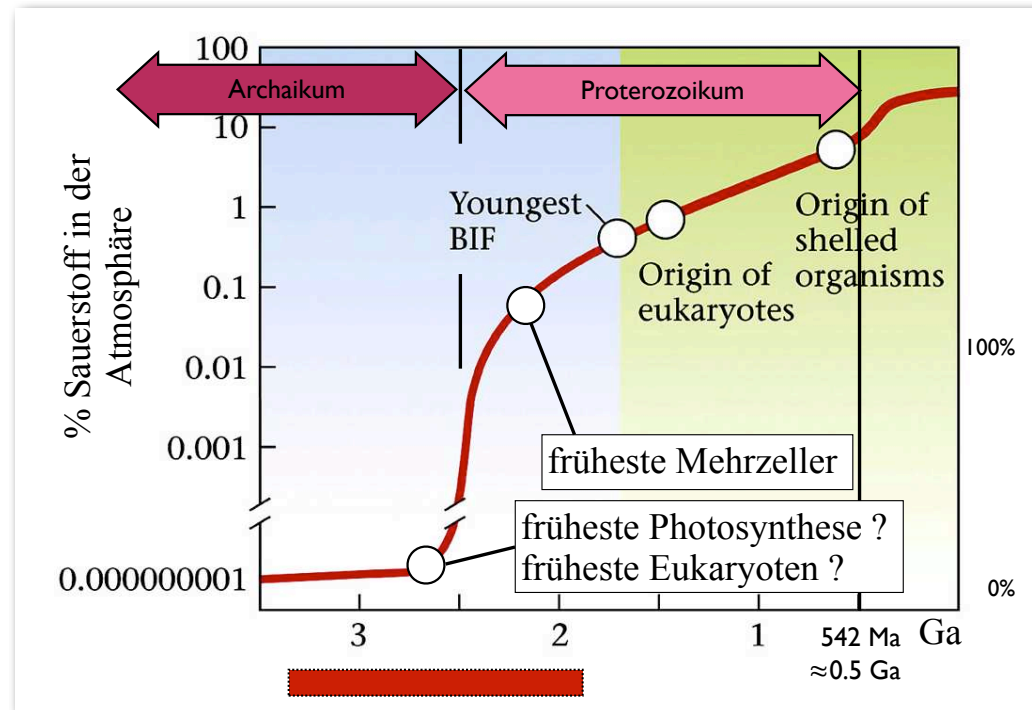
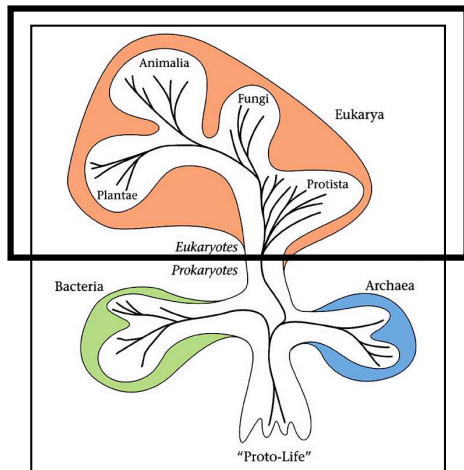
3.8 Ga RNA - Welt

RNA (trägt Information) kann replizieren

3.6 Ga DNA, Proteine → erstes Leben

3.5 Ga Cyanobakterien → Stromatolithe (Warrawoona, 3.5 Ga)

1000-2700 Ma - Oxidation



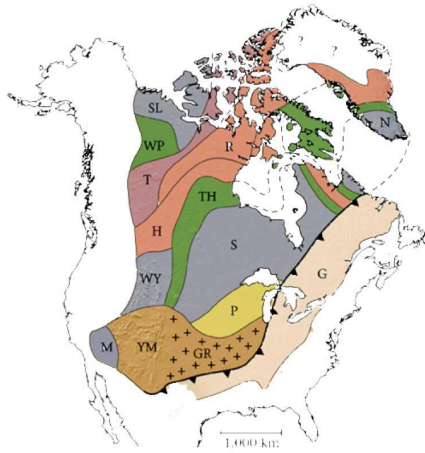
3.8 - 1.8 Ga
Photosynthese
Eukaryoten

- Bändererze (BIF, Banded Iron Formations)
- Sauerstoffgehalt der Atmosphäre steigt
- Pflanzen und Tiere

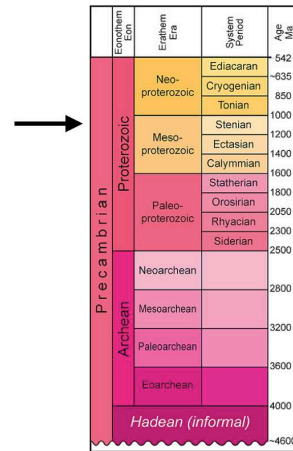
2700-3700 Ma - Stabilität "Boring Billion"

Proterozoikum

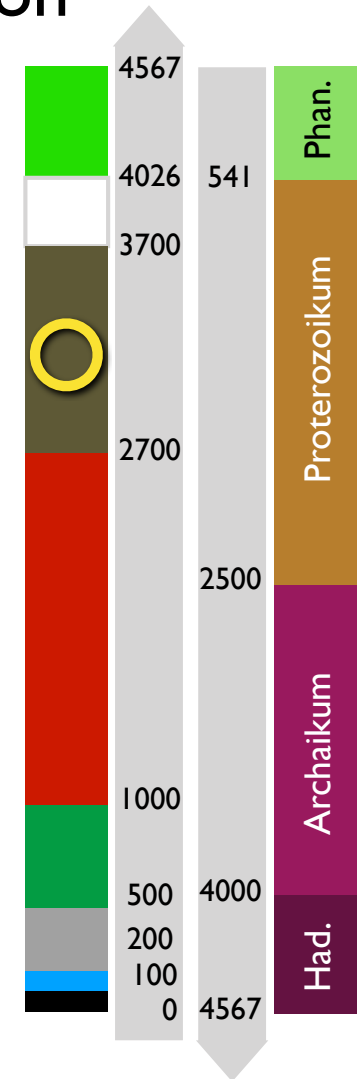
1.1 Ga



Kontinentale Kollision



Goldilock: anoxic times
Bildung von Tonmineralien



Zyklus:

Bildung/Auseinanderdriften von Superkontinenten
jeweils grosse Ozeane, relativ kurze Küstenlinie

3.1 Ga

Ur

2.7 Ga

Kenorland (auch: Superia)

2.0 Ga

Laurentia (auch: United Plates of America)

1.9 Ga

Columbia (auch: Hudsonland, Nena, Nuna)

1.1 - 0.85 Ga

arides Klima, anoxische Becken, S-Bakterien entlang Küste
"... smelliest time in Earth's history..."

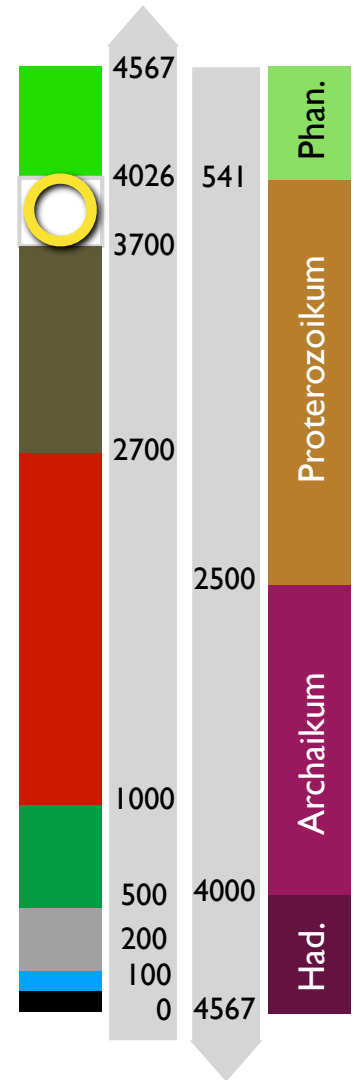
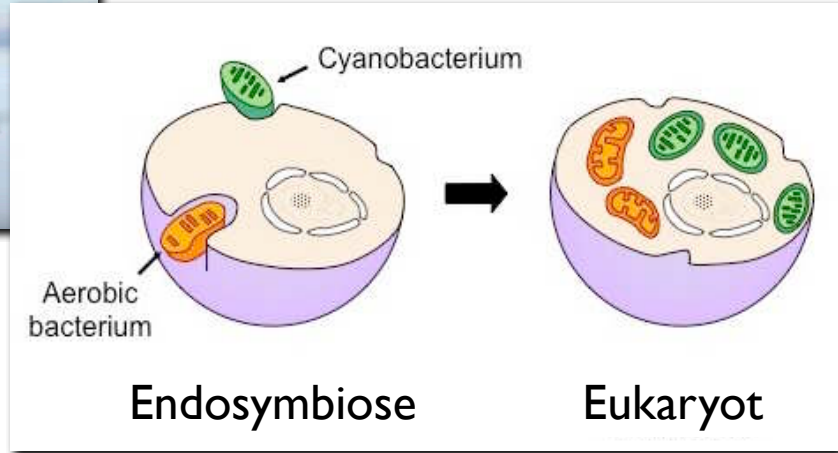
Resultat:

Mineral Revolution: von ~12 ("Ur-Mineralen")
→ >4000 Mineralien ab 850 Ma !!

3700-4000 Ma - Snowball Earth



Gaia Idee - Koevolution



Zyklus: Snowball - Hothouse (Vergletscherung - Treibhaus)

<https://www.youtube.com/watch?v=YKuoPBbh58Y>

Snowball Earth - How the Universe works

Start: mehr Küste, mehr Algen, mehr O₂, weniger CO₂,

→ kälter

Ende: CO₂ (Vulkanismus), kein O₂, Treibhaus,

→ wärmer → Algen Explosion

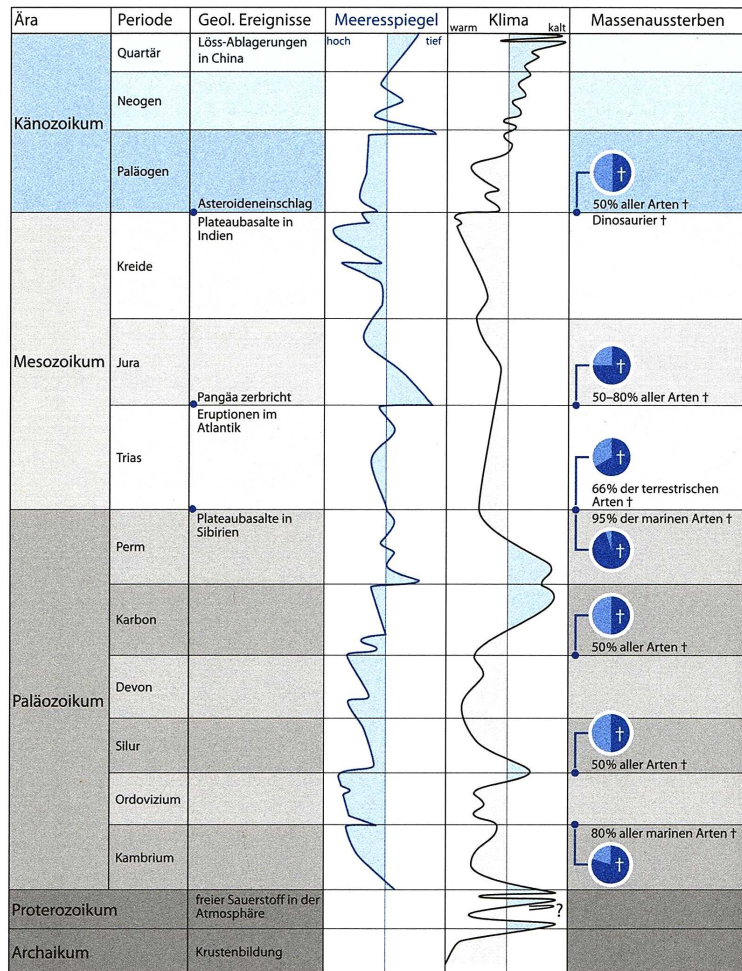
720 Ma Sturtische Eiszeit (Sturtian Glaciation)

650 Ma Marinoische eiszeit (Marinoan Glaciation)

580 Ma Gaskiers Eiszeit (Gaskiers Glaciation)

Resultat Algenblüte, zuletzt Entstehung von Metazoa (→ Ediacara Fauna)

4000-4567 Ma - Phanerozoikum



† Massenaussterben

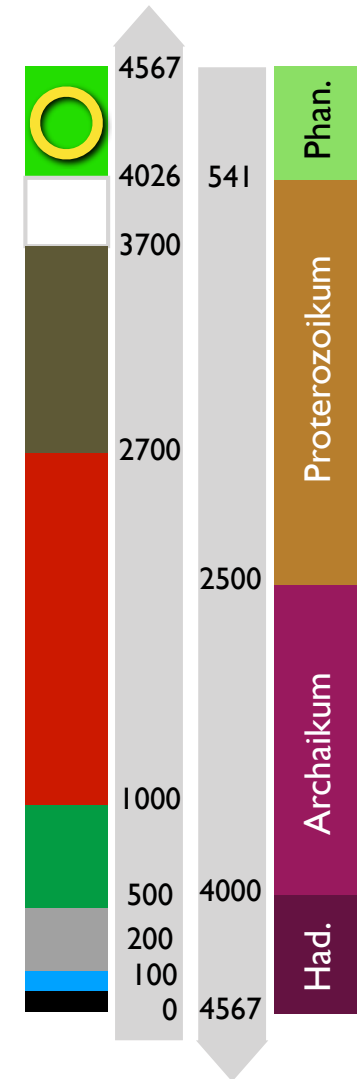
Kambrische Explosion (ab 542 Ma)



Ediacara Fauna (580 Ma)



Gabonionten (2.1 Ga)



Resultat: Biomineralisation → heute >5400 Mineralien !!

Zusammenfassung (... auf deutsch)

Entwicklung der Erde und des Lebens auf ihr

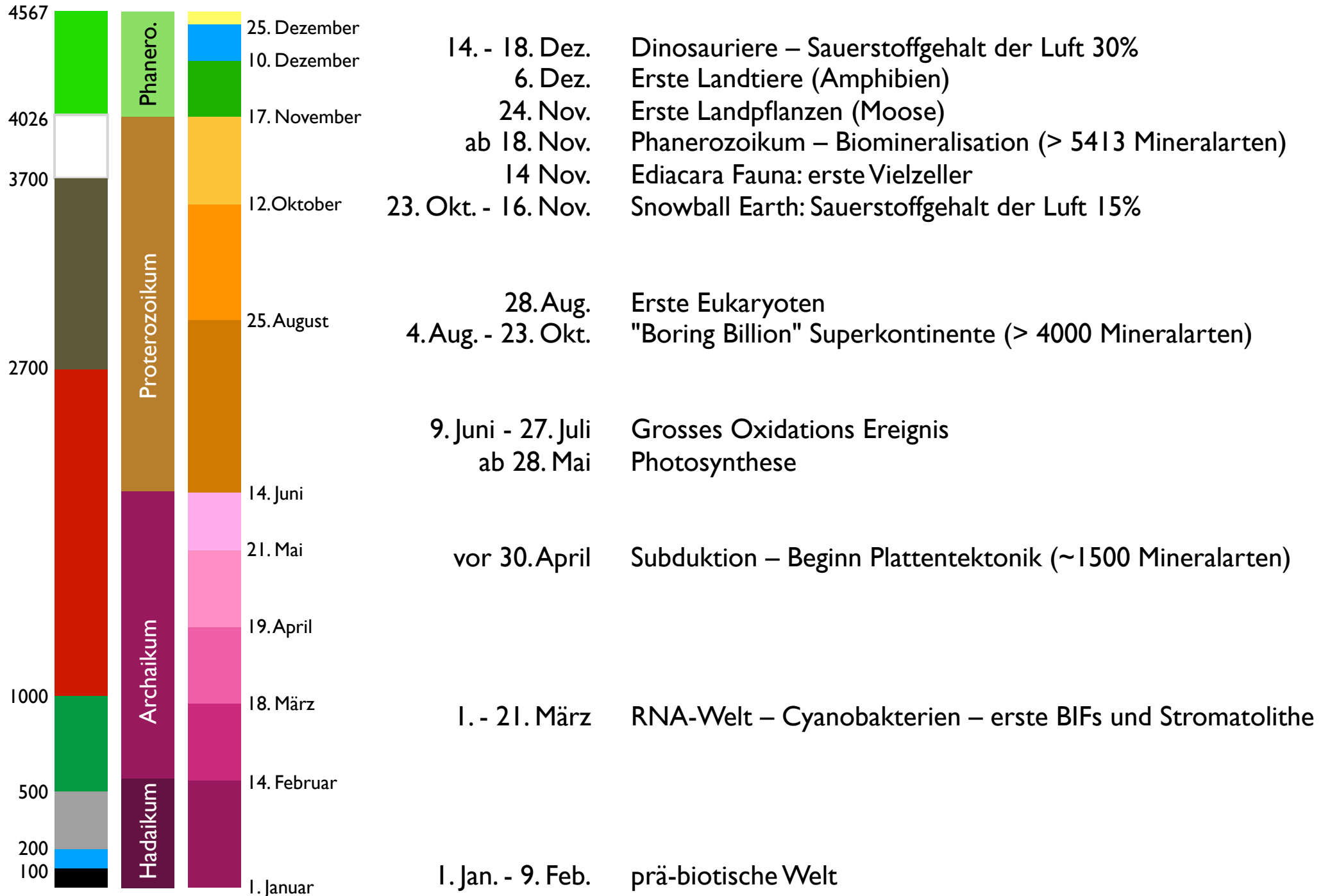
(Ma)

- Entstehung der Erde vor 4.567 Ga: kalte Akkretion am rechten Ort
- Differenzierung: Eisen-reicher Kern, Silikat-reicher Mantel
- ~50 Kollision mit Theia: aus den Trümmern entsteht unser Mond
- 50-100 Abkühlung führt zur Bildung einer Basalt-Kruste
- 100-200 Entgasung liefert H₂O, flüssiges Wasser bedeckt die Erde
- 200-500 Bildung von kontinentaler Kruste und Einsetzen der Plattentektonik
- 500-1000 Leben entsteht: Cyanobakterien beginnen mit O₂-Produktion
- 1000-2700 Photosynthese und die "grosse Sauerstoffkatastrophe"
- 2700-3700 Stagnierendes Leben ("Boring Billion") - Explosive Mineralogie
- 4700-4000 Vereisung-Treibhaus-Zyklen ("Snowball Earth"): Eukaryoten entstehen
- 4000-heute Aufstieg der terrestrischen Pflanzen und Tiere

Goldilock Prinzip Bedingungen "just right" für Erhaltung von Leben

Gaia Hypothese Koevolution von Lithosphäre und Biosphäre

... und wie lange ging das jetzt ?



Zeitraffer: 4567 Ma in einem Jahr

1967	31. Dez. 23:59:59:40	Plattentektonik
1356	31. Dez. 23:59:55	Basler Erdbeben
0	31. Dez. 23:59:46	Zeiten Wende
653 v.- 476 n.Chr.	31. Dez. 23:59:42 - 23:59:49	Römische Reich (dauert 7 s)
2200-800 v.Chr.	31. Dez. 23:59:31 - 23:59:41	Bronzezeit
11'700	31. Dez. 23:58	Holozän
120'000 - 11'000	31. Dez. 23:46 - 23:59	Würm letzte Eiszeit
300'000 - 200'000	31. Dez. 23:25 - 23:37	Homo sapiens
2 Ma	31. Dez. 20:10	Homo erectus
3 Ma	31. Dez. 18:25	Australopithecus (Lucy)
6.2 Ma	31. Dez. 12:07	Homini trennen sich von Schimpansen
11 Ma	31. Dez. 02:54	afrikanische/asiatische Homininae trennen sich
18-15 Ma	30. Dez. 19:13	Menschenaffen (Hominidae) trennen sich ab
23-16 Ma	30. Dez. 03:53	Menschenartige (Stamm-Homonoidea)

... und der letzte Tag für die Menschheit

30. Dez.	03:53	Menschenartige (Stamm-Homonoidea)
30. Dez.	19:13	Menschenaffen (Hominidae) trennen sich ab
31. Dez.	02:54	afrikanische/asiatische Homininae trennen sich
31. Dez.	12:07	Homini trennen sich von Schimpansen
31. Dez.	18:25	Australopithecus (Lucy)
31. Dez.	20:10	Homo erectus
31. Dez.	23:25 - 23:37	Homo sapiens
31. Dez.	23:46 - 23:59	Wärm letzte Eiszeit
31. Dez.	23:58	Holozän
31. Dez.	23:59:31 - 23:59:41	Bronzezeit
31. Dez.	23:59:42 - 23:59:49	Römische Reich (dauert 7 s)
31. Dez.	23:59:46	Zeiten Wende
31. Dez.	23:59:55	Basler Erdbeben
31. Dez.	23:59:59.6	Plattentektonische Theorie

1 Sekunde entspricht ca.	150 a
1 Stunde	500'000 a
1 Tag	13 Ma
1 Monat	380 Ma
1 Jahr	4.567 Ga

... da war doch noch eine Frage ...

Wie hängen Plattentektonik und Leben auf der Erde zusammen ?

Eine mögliche Antwort:

Plattentektonik (als Ausdruck der dynamischen Entwicklung unseres Planeten) und Leben (so wie wir es definieren) haben sich zusammen entwickelt (Koevolution).

Die Biosphäre (von der RNA-Welt bis zur modernen Fauna und Flora) und die Geosphäre (von der Entstehung unseres Sonnensystems bis zur modernen Plattentektonik), sind zwar nicht ein System (wie in der Gaia-Hypothese angenommen), sie sind jedoch intim ineinander verschränkt und bedingen sich gegenseitig.

Beide verändern sich im Lauf der Zeit: sowohl der Aufbau und die Dynamik der Erde als auch das Leben auf ihr hängen davon ab, dass die Bedingungen "just right" - gerade richtig sind (Goldilock Prinzip).

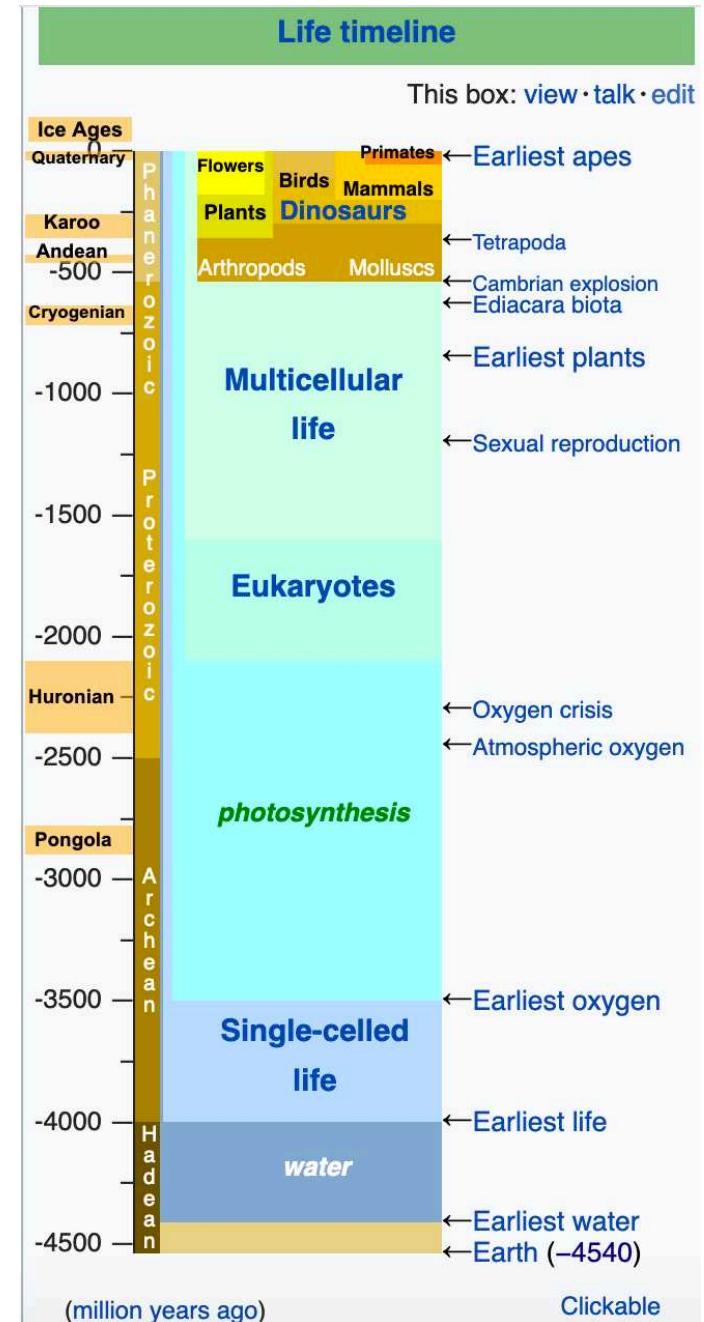
Nicht zu vergessen ist, dass zu diesen "richtigen" Bedingungen (z.B. richtige Temperatur, flüssiges Wasser, Sauerstoff in der Atmosphäre, usw.) auch externe Faktoren und Zufälle gehören (z.B. Erdbahnänderungen, Milankovitch Zyklen, Veränderungen des Magnetfeldes, Erwärmung und Wachstum der Sonne, oder gelegentliche Einschläge von Meteoriten...usw.)

Zeittabellen: Minerale, Photosynthese

Era/stage	Age (Ga)	Cumulative no. of species
<i>Prenebular "Ur-minerals"</i>	>4.6	12
Era of planetary accretion (>4.55 Ga)		
1. Sun ignites, heating nebula	>4.56	60
2. Planetesimals form	>4.56–4.55	250
Era of crust and mantle reworking (4.55–2.5 Ga)		
3. Igneous rock evolution	4.55–4.0	350–420 ^[15]
4. Granitoid and pegmatite formation	4.0–3.5	1000
5. Plate tectonics	>3.0	1500
Era of biologically mediated mineralogy (2.5 Ga – present)		
6. Anoxic biological world	3.9–2.5	1500
7. Great Oxidation Event	2.5–1.9	>4000
8. Intermediate ocean	1.85–0.85 ^{[16]:181}	>4000
9. Snowball Earth events	0.85–0.542	>4000
10. Phanerozoic era of biomineralization	<0.542	>5413 ^[13]

https://en.wikipedia.org/wiki/Mineral_evolution

https://en.wikipedia.org/wiki/Evolution_of_photosynthesis



Gaia Hypothese

Erde und ihre Biosphäre können als ein Lebewesen betrachtet werden.

Die Biosphäre schafft und erhält Bedingungen, die nicht nur Leben, sondern auch eine Evolution komplexerer Organismen ermöglichen.

Die Erdoberfläche bildet demnach ein dynamisches System, das die gesamte Biosphäre stabilisiert.

Vorausgesetzt wird eine Definition von Leben, wonach sich Lebewesen insbesondere durch die Fähigkeit zur Selbstorganisation auszeichnen.

Mitte der 1970er-Jahre von der Lynn Margulis und James Lovelock entwickelt.



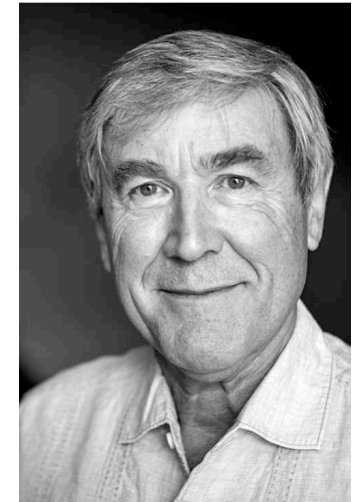
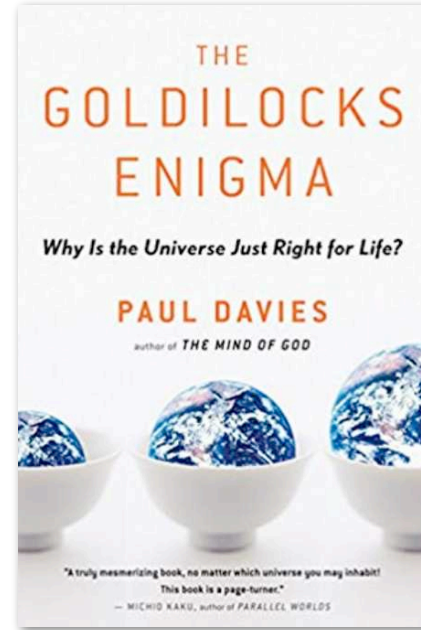
*Lynn Margulis
(1938-2011)*



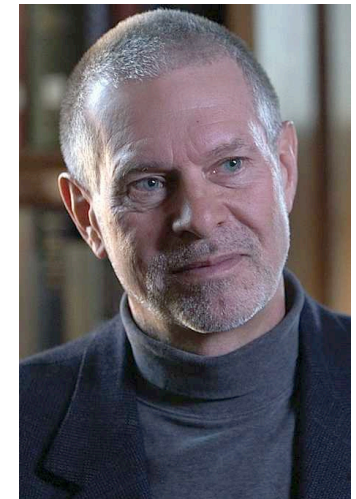
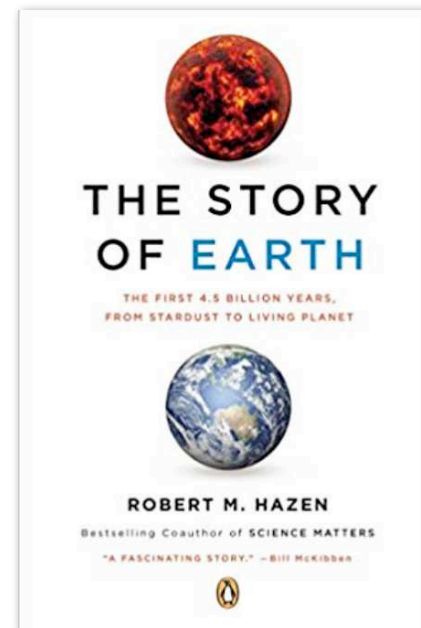
*James Ephraim
Lovelock (*1919)*

... und noch was ...

... zum Goldilock Prinzip
im Universum



Paul Charles William
Davies (*1946)



Robert Miller Hazen
(*1948)

... zu Geosphäre-Biosphäre –
Ko-Evolution auf der Erde