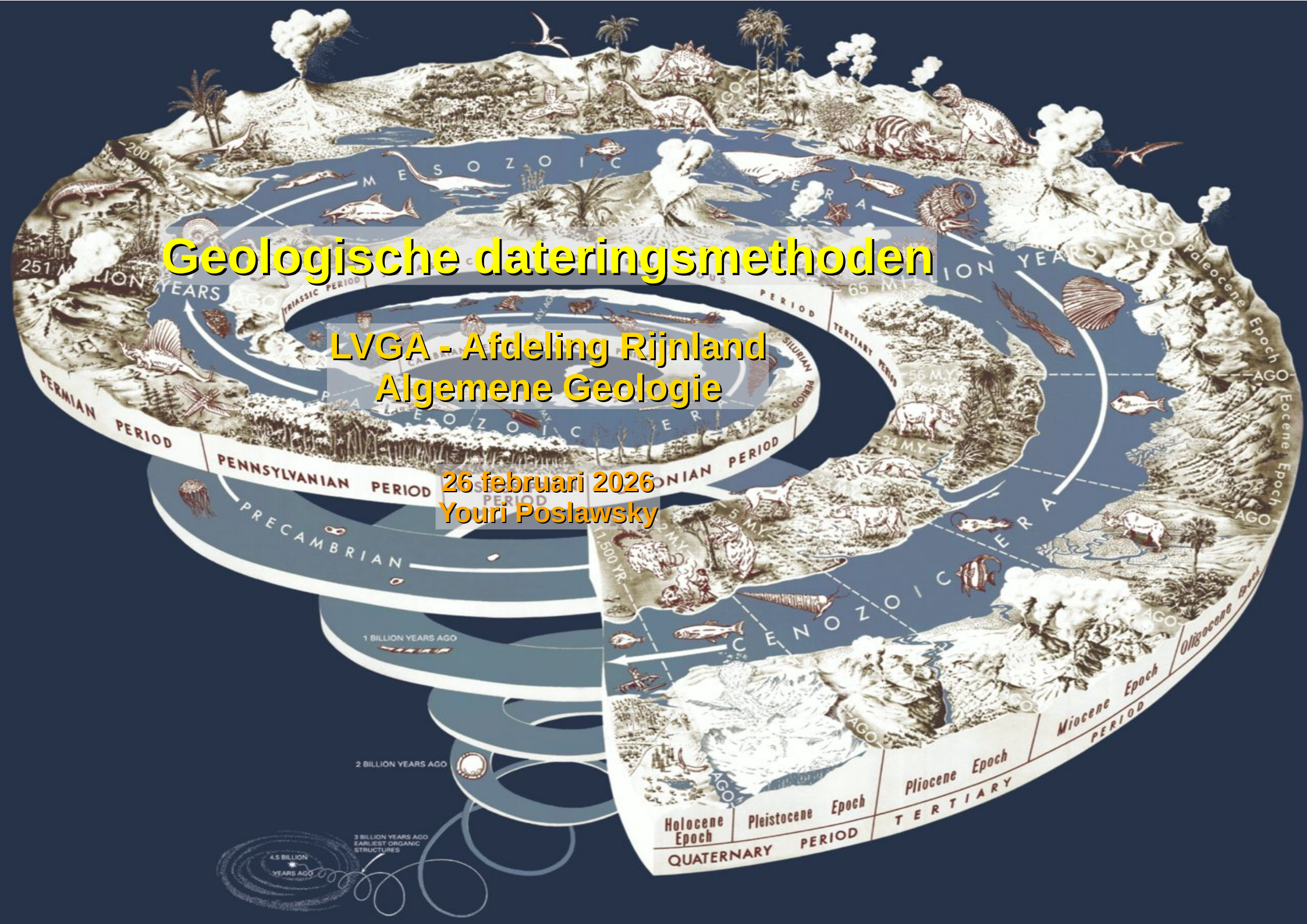


Geologische dateringsmethoden

LVGA - Afdeling Rijnland
Algemene Geologie

26 februari 2026
Yuri Poslowsky



Inhoud

Tijd: definities, cycli

Deep time

Creationisten, Neptunisten, Plutonisten

Dateringsmethoden

Fossielen

Dendrochronologie

IJskernen

Warven

Milankovitch-cycli

Geomagnetische ompoling

Absolute dateringsmethoden

C14-datering

Uranium / thorium - lood verval

Rubidium - Strontium verval

Kalium - Argon verval

U-serie disequilibrium

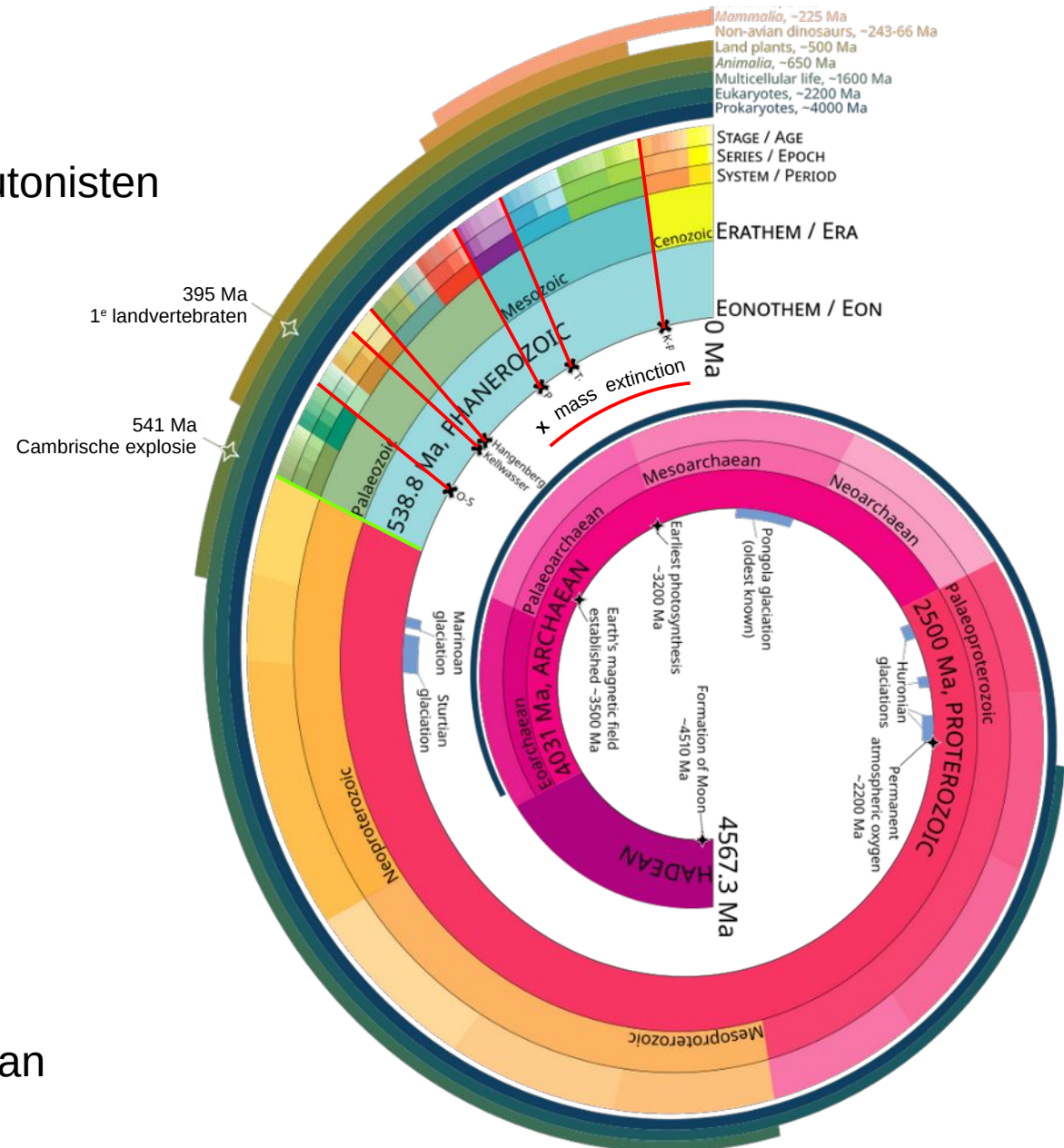
Fission track

Elektron spin resonantie

Thermoluminescentie

Daglengte, afstand Aarde - Maan

Bronnen



Tijd

Tijd is de ononderbroken, onomkeerbare voortgang van gebeurtenissen van het verleden via het heden naar de toekomst.

Tijd fungeert als een vierde dimensie.

Tijd wordt objectief geklokt en subjectief beleefd.

De speciale relativiteitstheorie (Albert Einstein, 1905) maakte absolute tijd onhoudbaar.

Tijd is een natuurkundige grootte, gemeten in seconden (SI-eenheden)

1 jaar = $36.83 \cdot 10^6$ sec

1Ma = $36.83 \cdot 10^{12}$ sec

dagen, weken, maanden, jaren, eeuwen, millennia (ka), **Ma**, Ga.

De seconde wordt (nu) gedefinieerd als de overgang tussen de twee hyperfijne energieniveaus van de grondtoestand van een ^{133}Cs -isotoop in rust bij een temperatuur van 0^0 K.

Greenwich Mean Time (GMT)

kwartsuurwerken: Universal Time (UT)

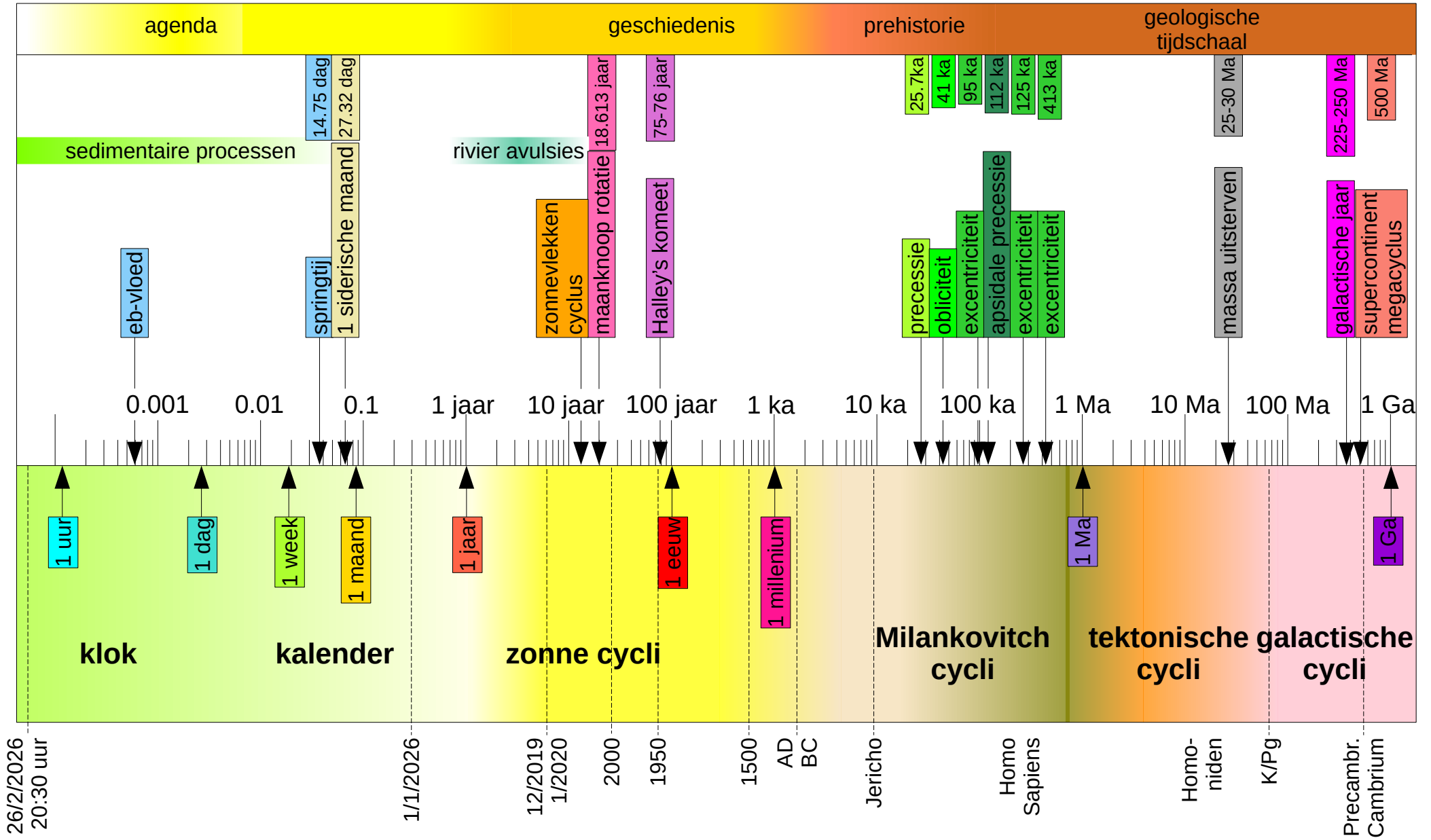
atoomklok (1955): Température Atomique Internationale (TAI)

Coordinated Universal Time (UTC)



atoomklok

Tijdcycli



Deep time

Creationisten

genealogie Oude Testament

Johannes Kepler	(D)	(1571-1630)	3992 v.Chr.
James Ussher	(IRL)	(1581-1656)	4004 v.Chr.
Isaac Newton	(GB)	(1643-1727)	ca. 4000 v.Chr.

ouderdom Aarde

4.54 ± 0.05 Ga

Neptunisten

oceanisch oorsprong gesteenten

Nicolas Steno	(DK)	(1638-1686)
Horace Bénédict de Saussure	(CH)	(1740-1799)
Abraham Gottlob Werner	(D)	(1749-1817)

Plutonisten

vulkanisch ontstaan gesteenten

Georges Cuvier	(FR)	(1769-1832)
Adam Sedgwick	(GB)	(1785-1873)
Charles Lyell	(GB)	(1797-1875)

James Hutton	(GB)	(1726-1797)
Georges Cuvier	(F)	(1769-1832)
Charles Darwin	(GB)	(1809-1882)

uniformitarianisme
catastrofisme
evolutie



Aartsbisschop
James Ussher
(1581-1656)

- heden is sleutel tot verleden
- catastrofes sloten tijdperken af
- continue biologische verandering erfelijke eigenschappen

Dateringsmethoden

Radiometrische datering: het verval van radio-isotopen **wordt gemeten.**

Correlatie van zogenaamde marker-horizonten:
een bekende ouderdom wordt lateraal ook aan ander materiaal toegekend.

Incrementele methoden: een bekende sedimentatie snelheid
kan worden gebruikt om de ouderdom te bepalen t.o.v. een gedateerde laag.



aslaag
geschikt voor absolute
ouderdomsbepaling

Relatieve ouderdom

Stratigrafische principes

Uniformiteit: fysische processen van vroeger zijn dezelfde als die vandaag.

Horizontaliteit: lagen zijn oorspronkelijk min of meer horizontaal afgezet.

Superpositie: lagen, die normaal boven andere lagen liggen, zijn jonger.

Laterale continuïteit: een laag loopt door, tot er een structuur of wijziging is, die de laag onderbreekt.

Doorsnijding: een structuur, die een andere doorsnijdt, is jonger.

Inclusie: een structuur, die omsloten wordt door een andere, is ouder.

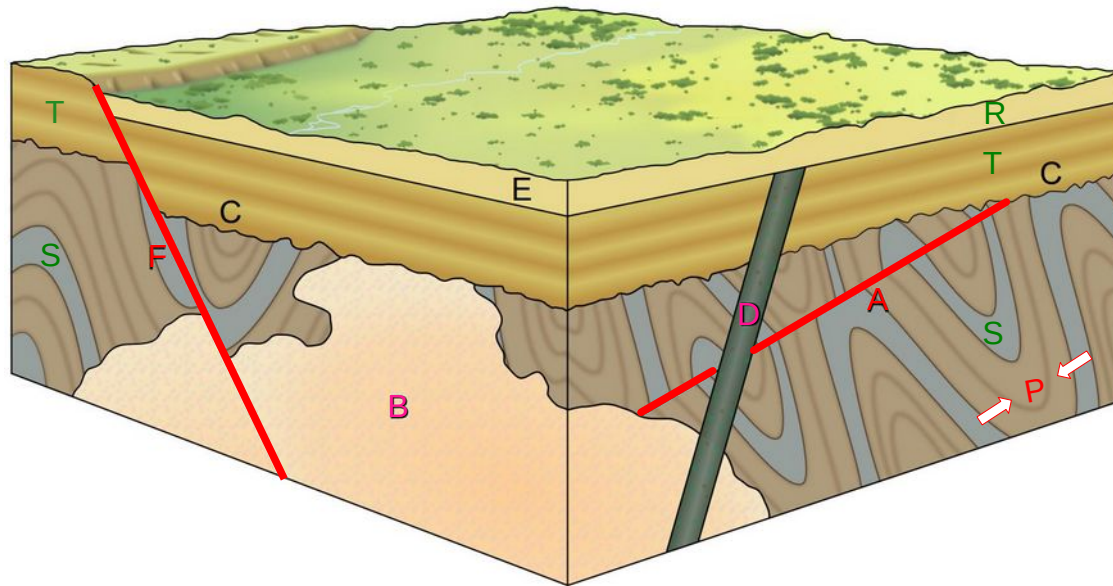


Nicolaus Steno

(1638 - 1686)



Volgorde gebeurtenissen?



sedimentpakketten:

S
T
R

tektoniek

Plooiing:

P

Breuken:

A

F

erosievlakken:

C

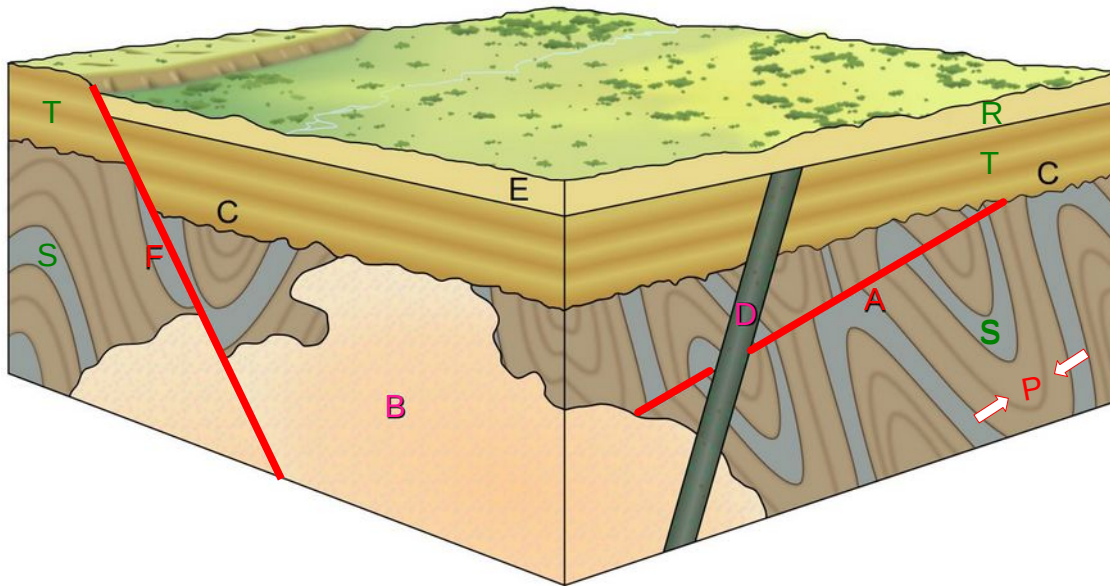
E

intrusies:

B

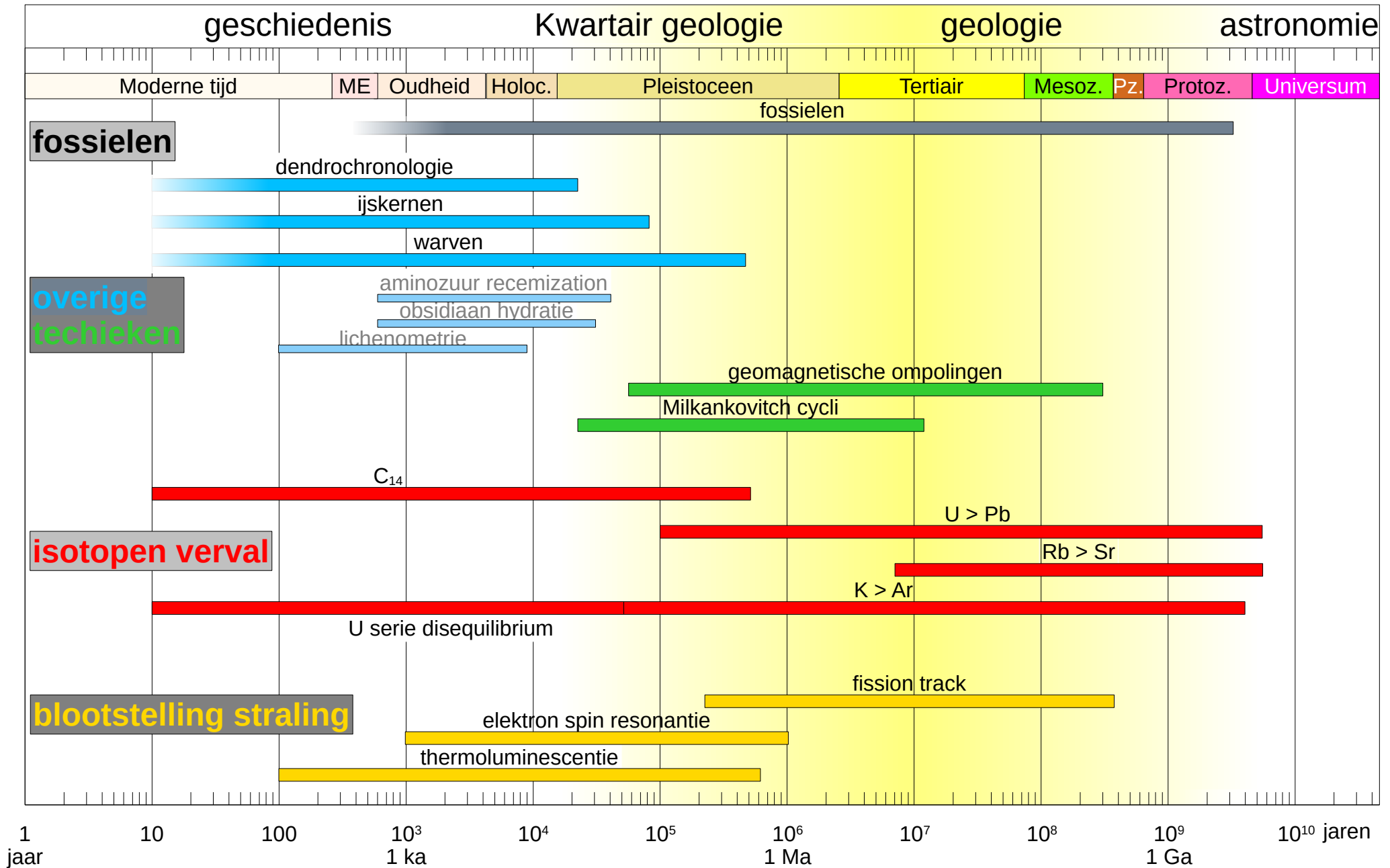
D

Volgorde gebeurtenissen!



10 breuk F	↕	9
9 sedimentatie laagpakiet R	↕	10
8 erosie T + D (discordantie E)		
7 intrusie dyke D		
6 sedimentatie laagpakiet T		
5 erosie S + A + B (hoekdiscordantie C)		
4 intrusie B		
3 breuk A		
2 plooiing laagpakiet P		
1 sedimentatie laagpakiet S		

Dateringsmethoden



Fossielen

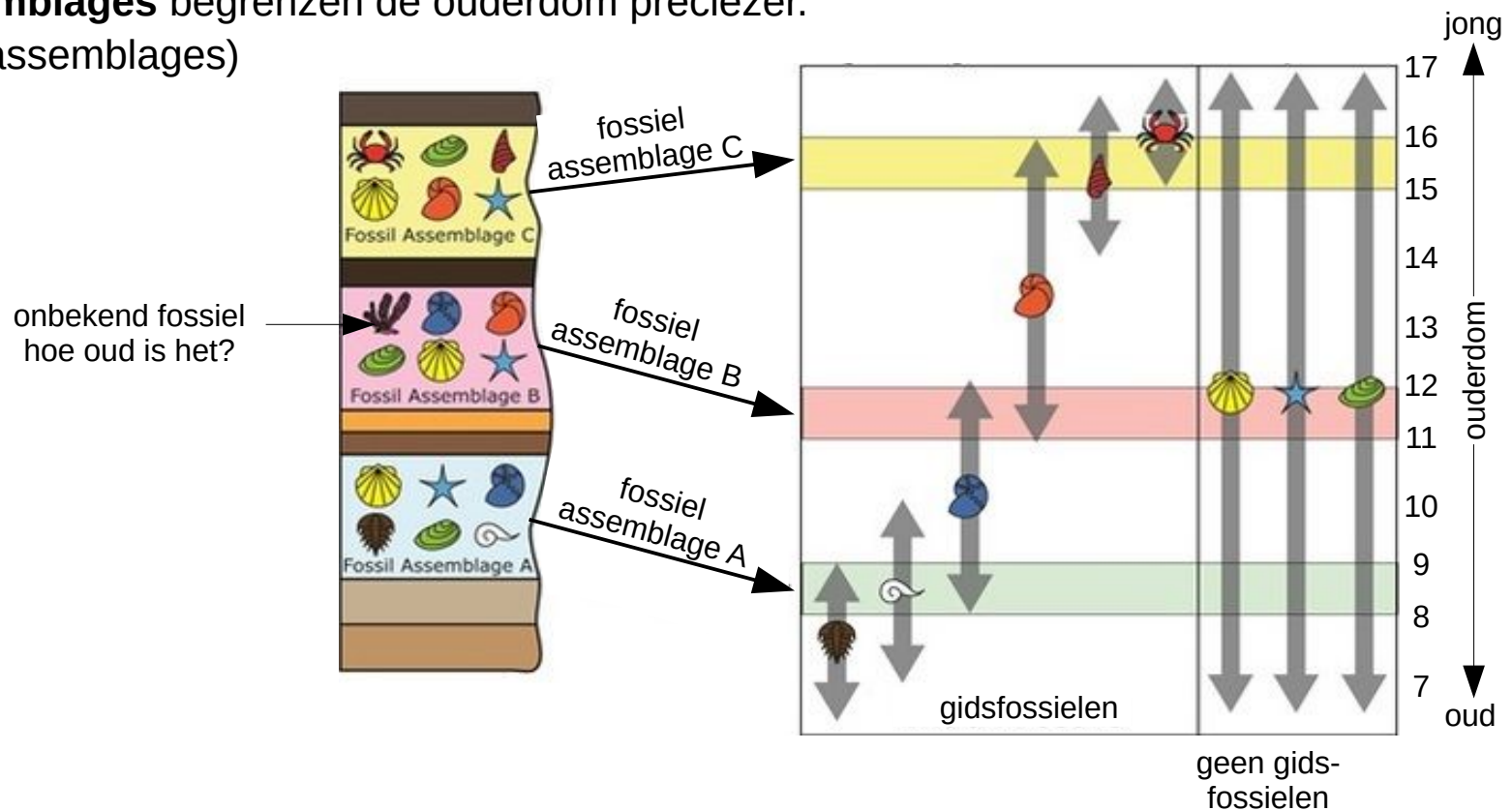
10³ - 10⁹ jaar

Gidsfossiel komt alleen voor binnen een zeer specifiek tijdperk.

Het is een typisch veelvoorkomende fossiel met een wijdverbreide geografische spreiding:
(brachiopoden, trilobieten, ammonieten, microfossielen!).

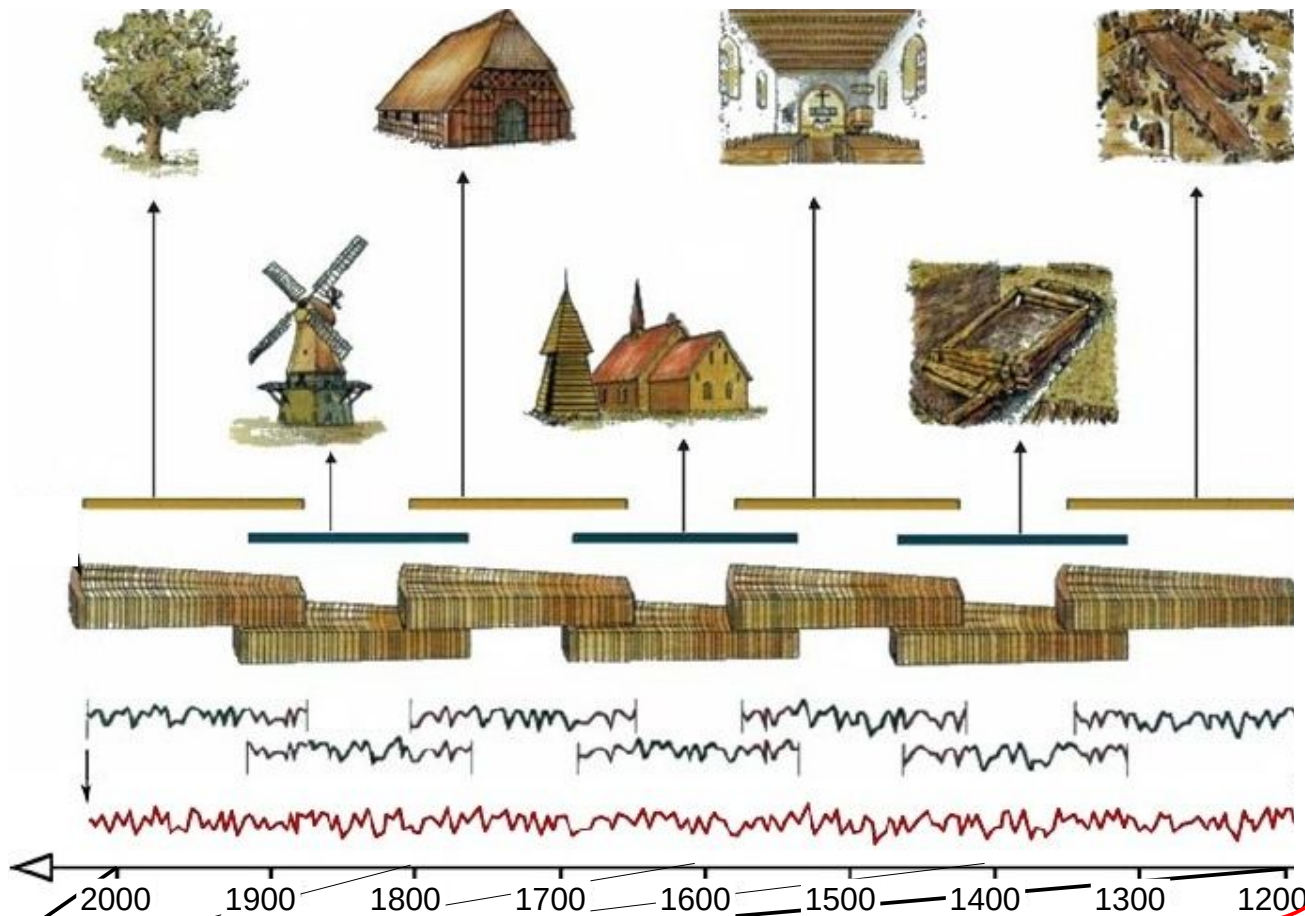
Snelle evolutie begrenst het ouderdomsbereik.

Fossilassemblages begrenzen de ouderdom preciezer.
(milieu-assemblages)



Dendrochronologie

0 - 2x10⁴ jaar

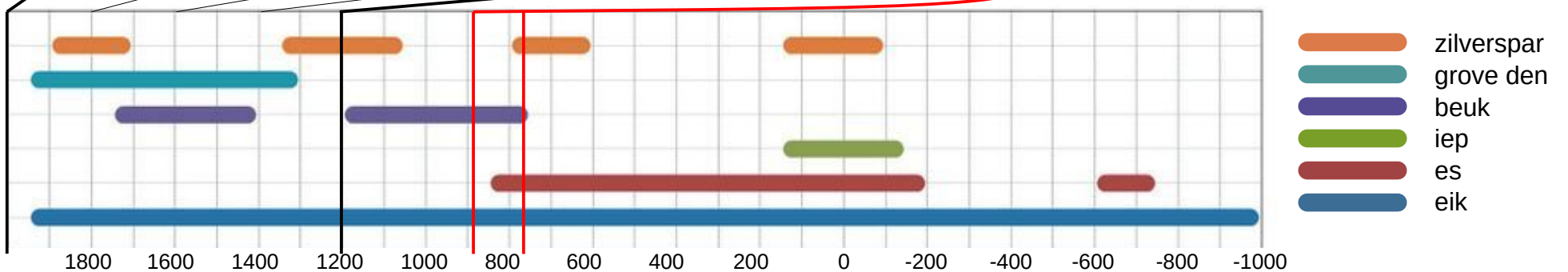


Bij houten palen/bouwhout:
een schijf van ongeveer 5 cm
liefst met spinhout en bast
op de plek van de grootste diameter.

Meerdere monsters van hetzelfde stuk hout
minimaal 60 ringen.

Bij voorkeur eik, daarnaast ook es, iep, beuk
grove den en zilverspar.

Zonnestormen, zoals die in 774-775 en 993-994
kunnen in een onbekende reeks
een vast referentiepunt geven
omdat ze een piek in C-14 veroorzaken
in boomringen over de hele wereld.



Overzicht van kalenders van in Nederland aangetroffen en dateerbare houtsoorten vanaf 1000 v.Chr. naar: E. Jansma.

Dendrochronologische formule

$$\Delta L(t) = \frac{dM^{1/3}(t)}{k_v \rho^{1/3} dt} \quad \Delta L(t) = \frac{c_1 e^{-at} + c_2 e^{-bt}}{3k_v \rho^{1/3} (c_3 + c_1 e^{-at} + c_2 e^{-bt})^{2/3}}$$

ΔL = breedte jaarring

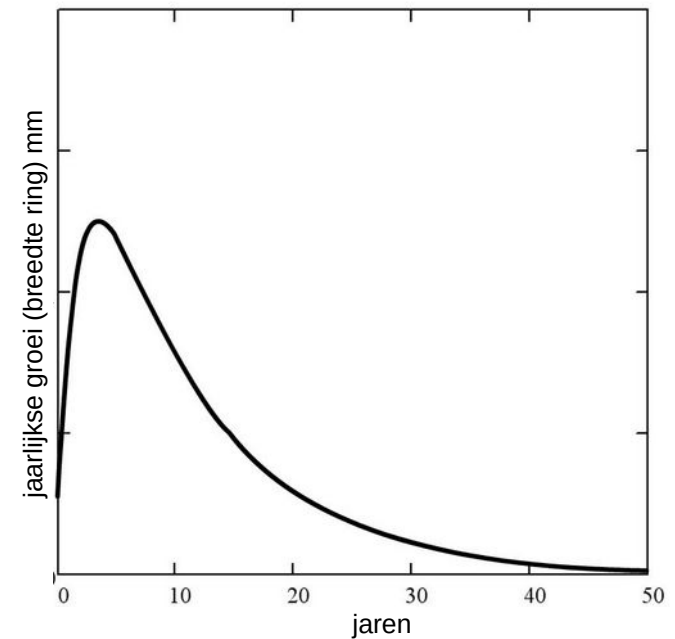
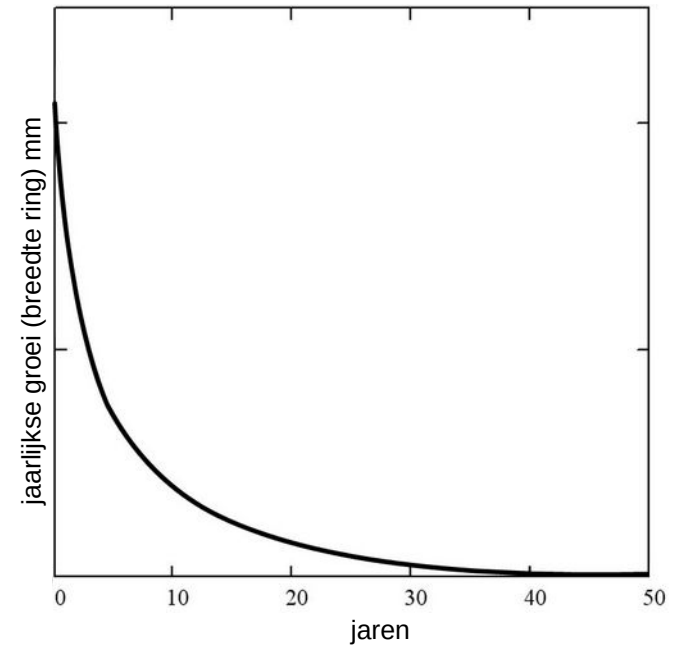
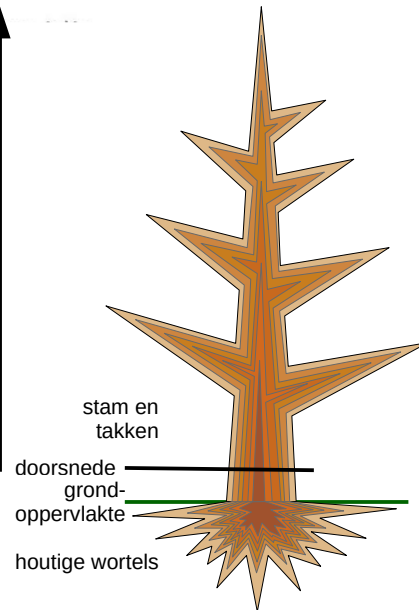
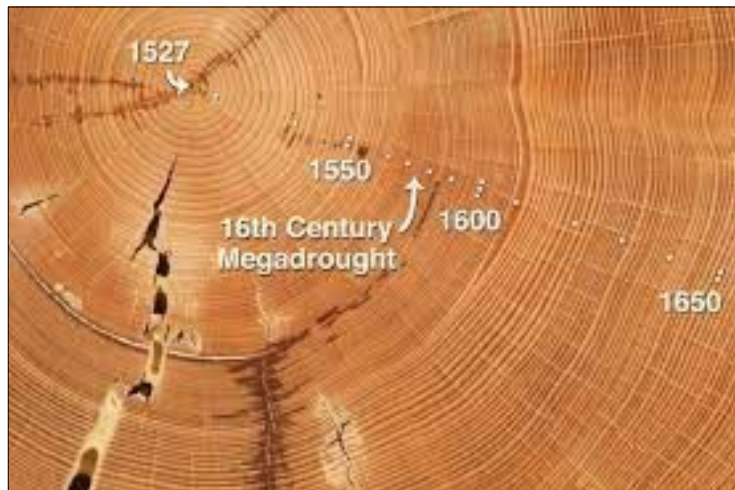
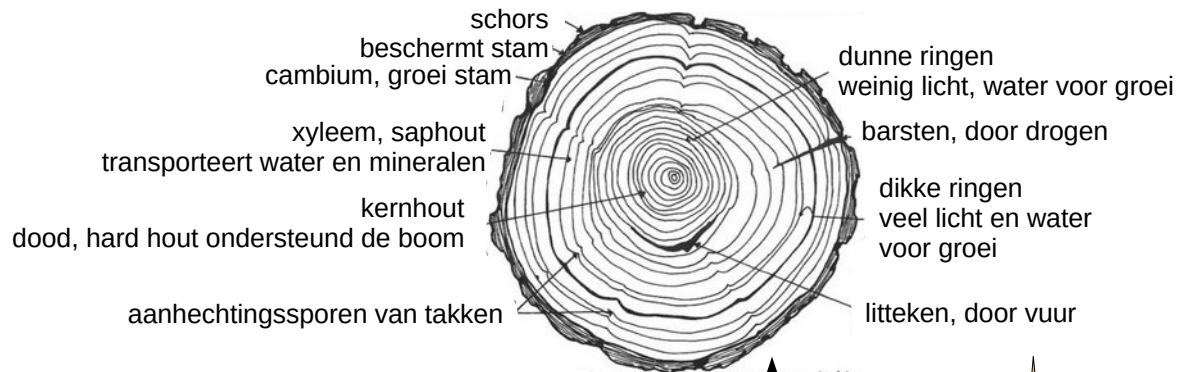
t = tijd (in jaren)

ρ = hout dichtheid

$M(t)$ = functie van massa groei van de boom

a, b = constanten

k_v, c = coëfficiënten



IJskernen

Tellen van de jaarlijkse gelaagdheid in het ijs, vergelijkbaar met boomringen onder invloed van seizoenen.

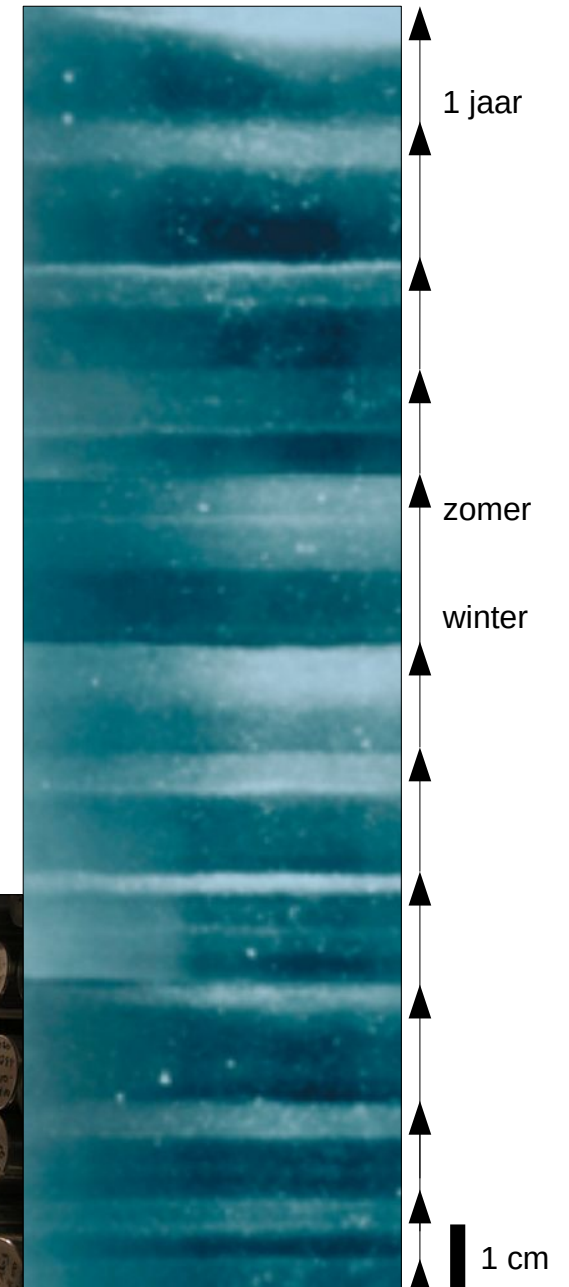
Bij voorkeur wordt een ijskern geboord op een plek waar het ijs niet door ijsstromen is vervormd.
(meestal op de top van een ijskap of een 'ijsdome')

In gebieden met weinig sneeuwval (zoals centraal Antarctica) zijn de laagjes erg dun en lastig te onderscheiden. De gelaagdheid wordt minder duidelijk op grotere dieptes als gevolg van compactie en deformatie. Van veel vulkanische aslaagjes (tefra) in het ijs is de ouderdom bekend.

Analyses (temperatuur):
samenstelling ingesloten luchtbelletjes (CO_2 , CH_4)
stabiele zuurstofisotopen (^{16}O , ^{18}O) $> \delta^{18}\text{O}$



10 - 8x10⁴ jaar



Warven

sinds 1884

10 - 6x10⁵ jaar

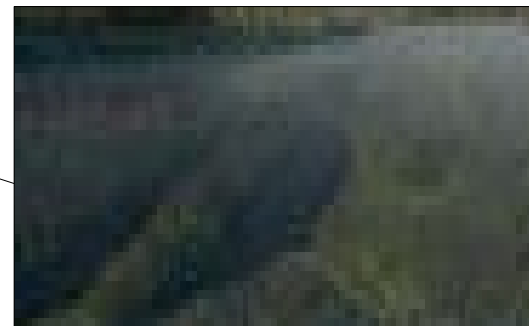
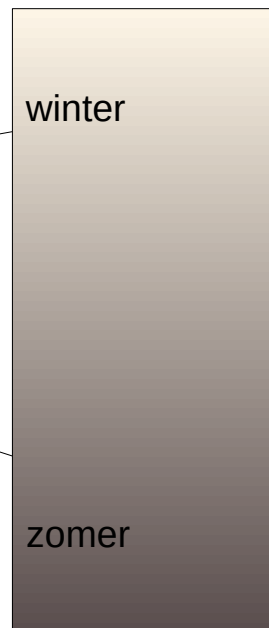
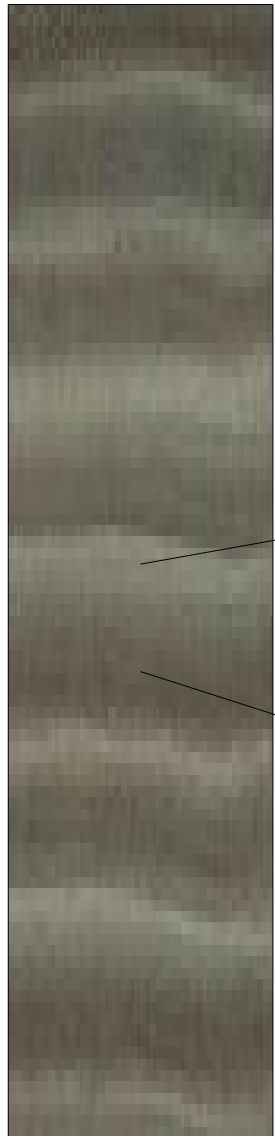
Een warve is een herkenbaar sedimentlaagje, gevormd in de loop van één jaar. Door wisselende omstandigheden in de loop van het jaar verandert het aangevoerde sediment in een cyclisch herhalend patroon waardoor voor elk jaar een herkenbaar laagje gevormd wordt.

Laagjes kunnen verschillen in dikte, samenstelling of andere eigenschappen.

Klastische warven worden afgezet in meertjes of zeeën.

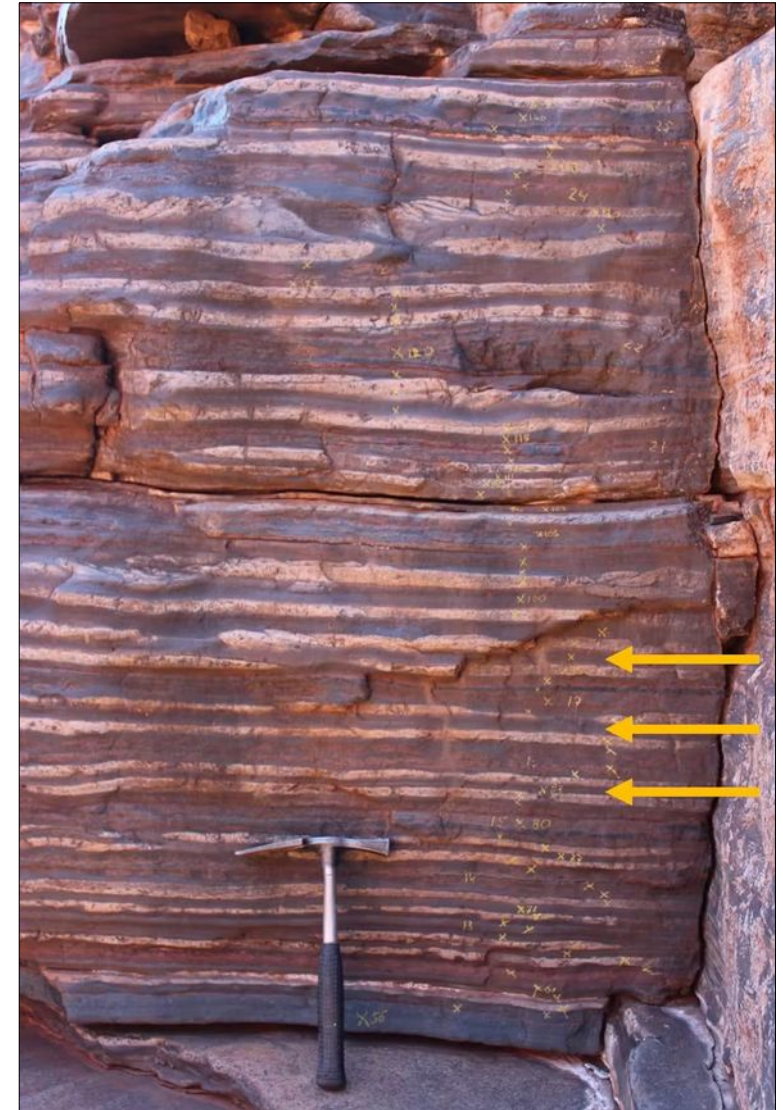
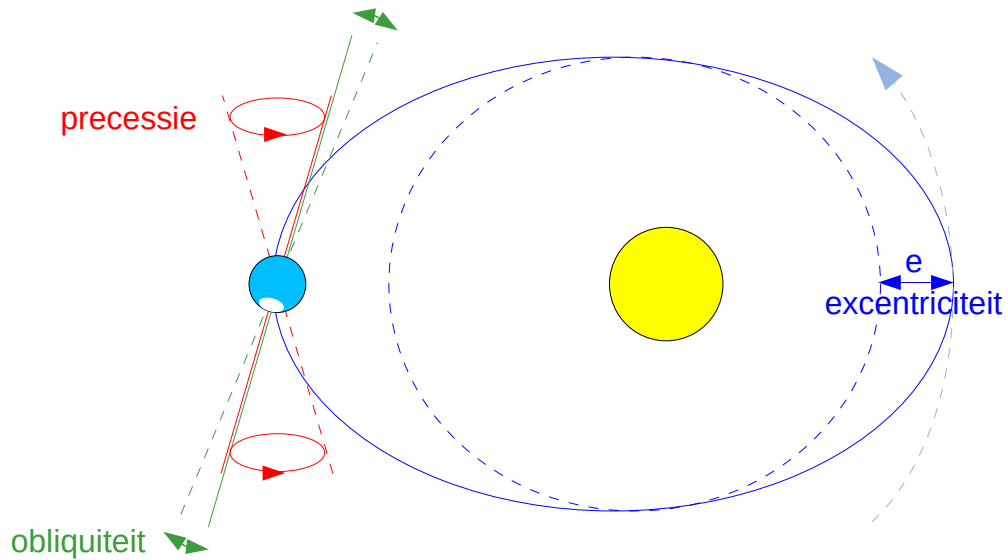
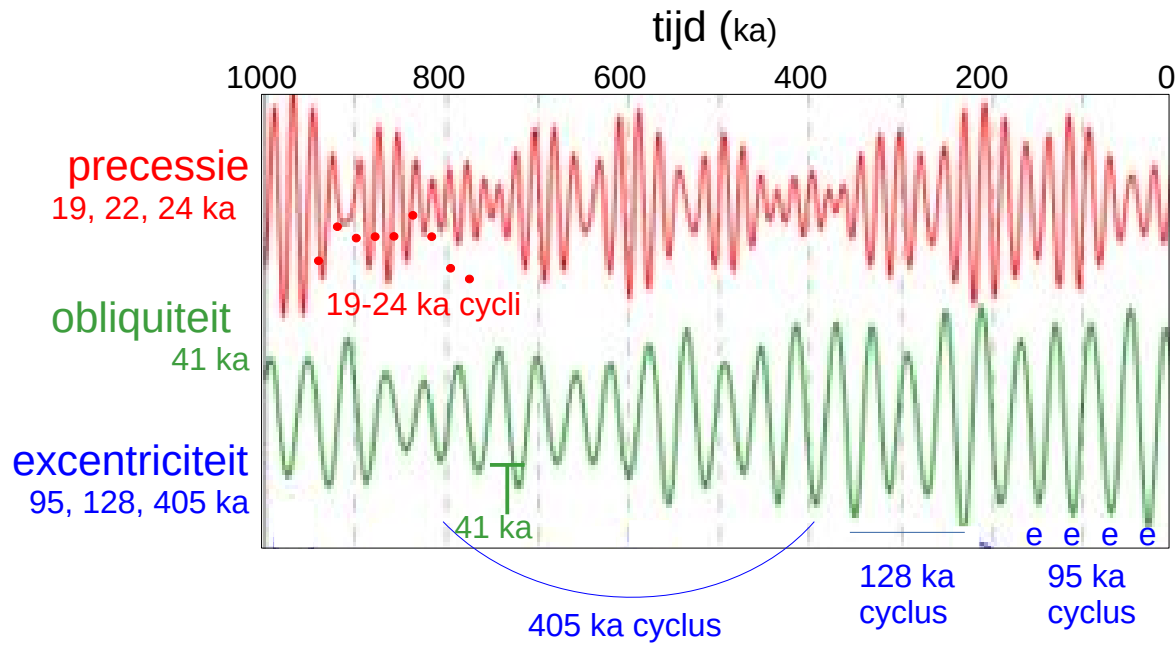
Evaporitische warven ontstaan in stilstaand water in semi-aride gebieden.

Biogeochemische warven ontstaan in meren op hogere breedtegraden.

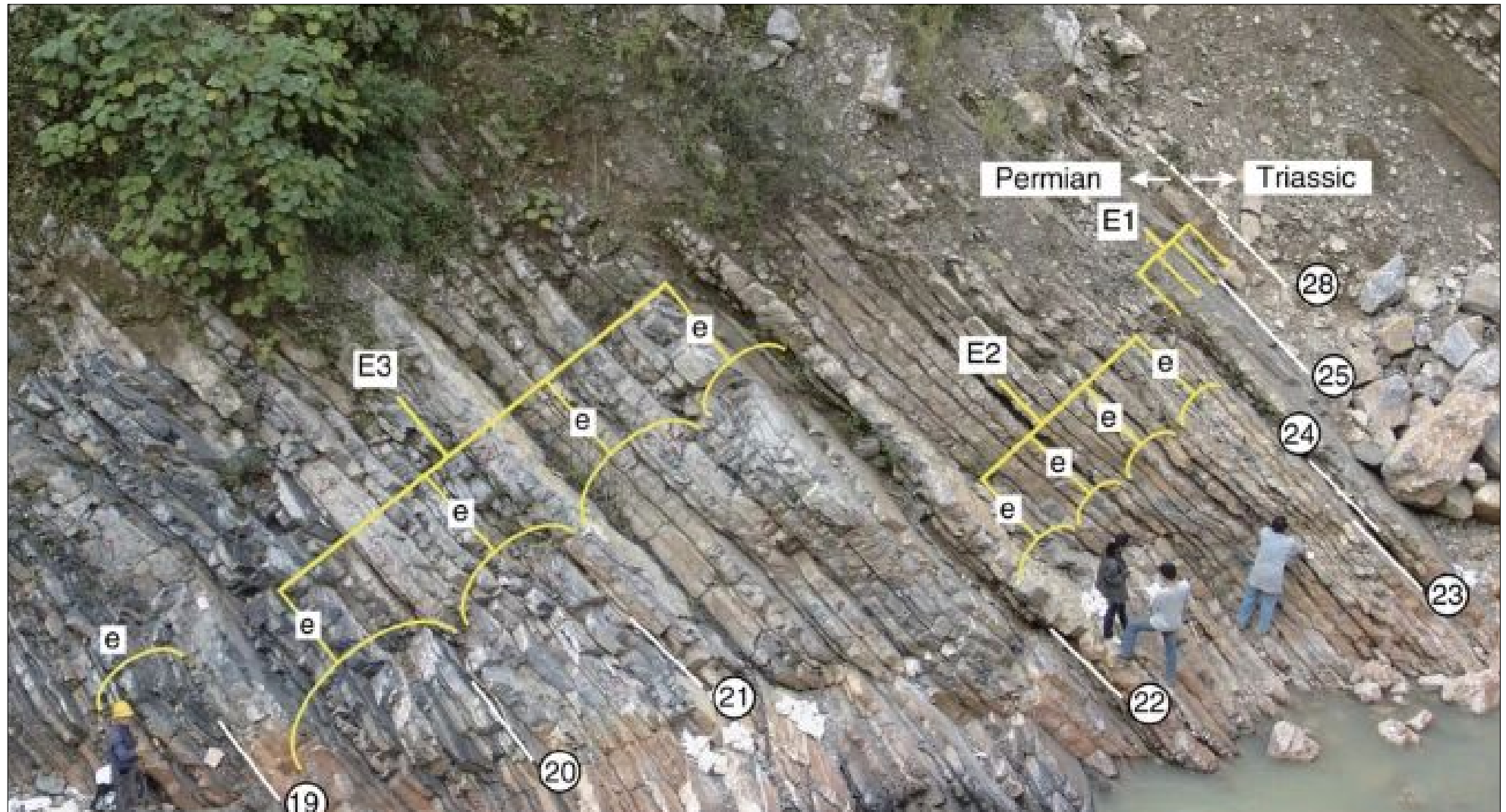


Milankovitch-cycli

2×10^4 - 1.1×10^7 jaar

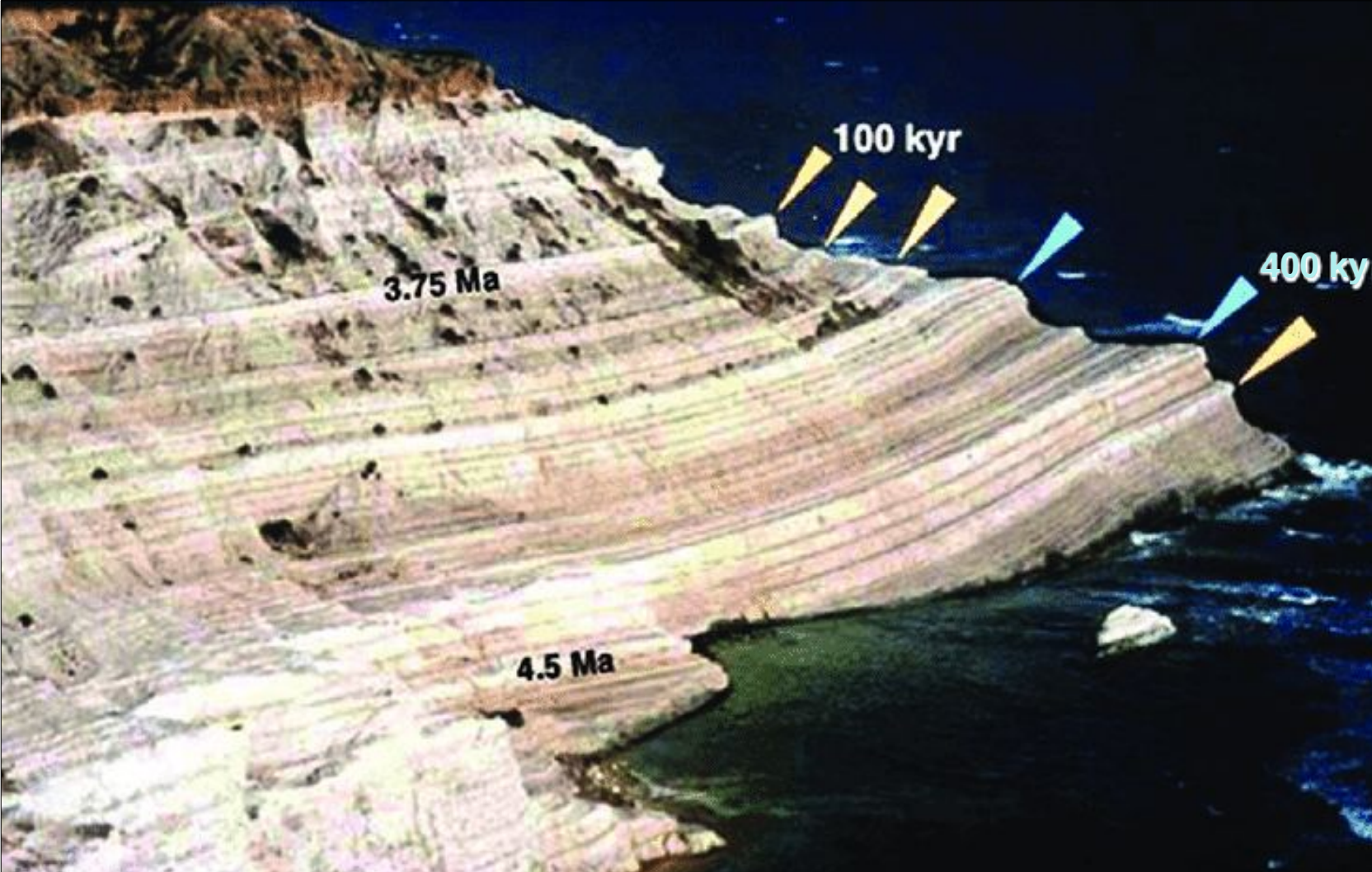


Milankovitch



5 precessie lagen van 20 ka vormen een excentriciteitsbundel van 100 000 jaar (e)
4 cycli van 100 000 jaar zijn gebundeld in excentriciteitscycli van 405 000 jaar (E)

Milankovitch



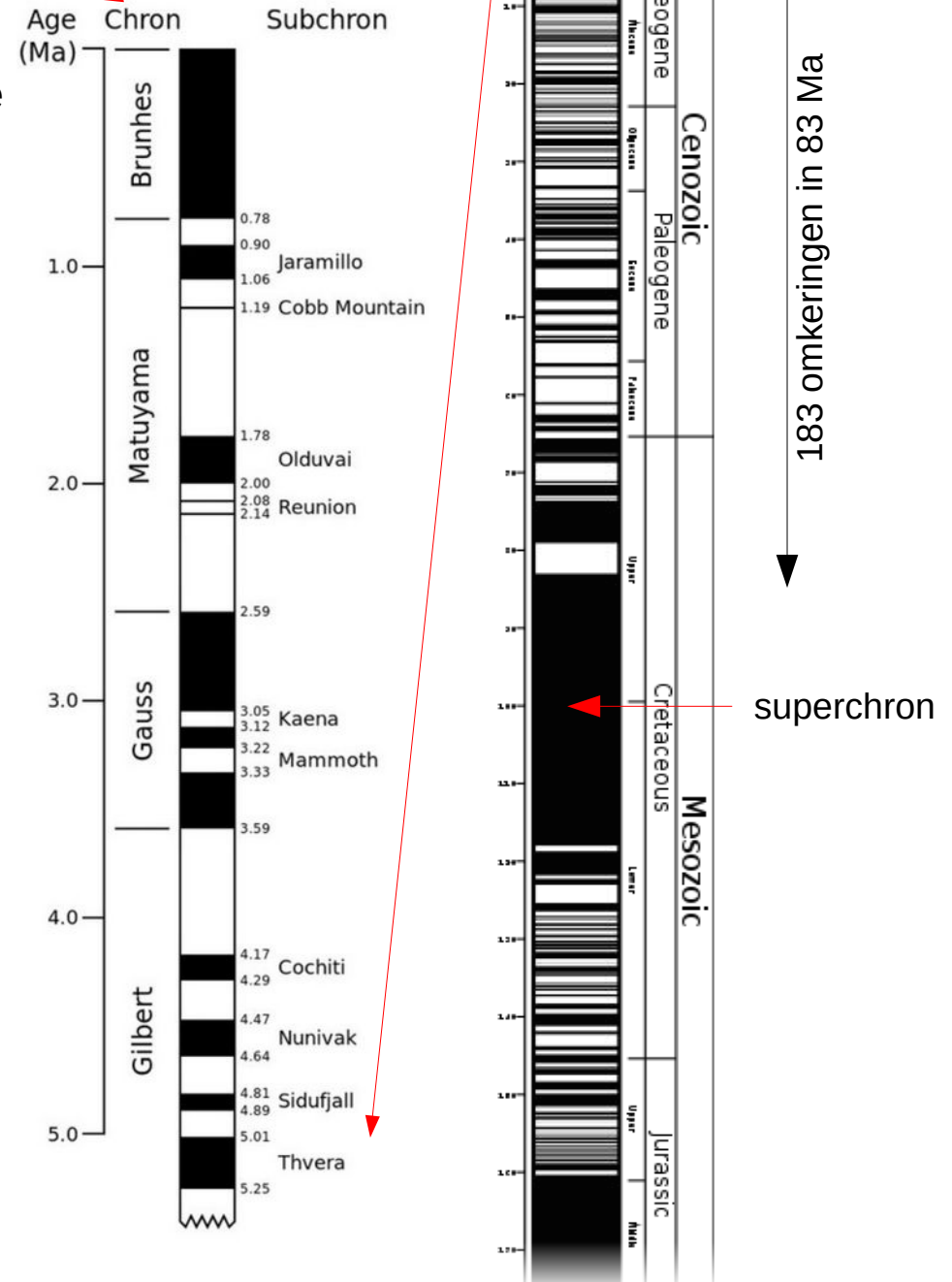
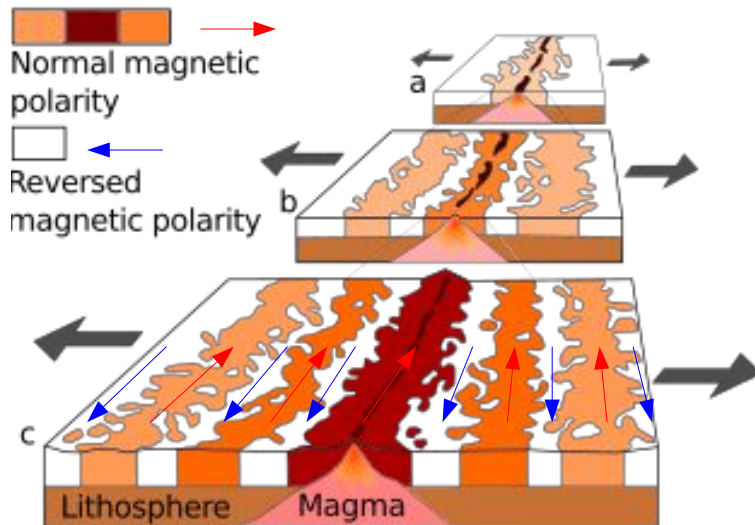
Punta di Maiata, Sicilië

Milankovitch in kalken



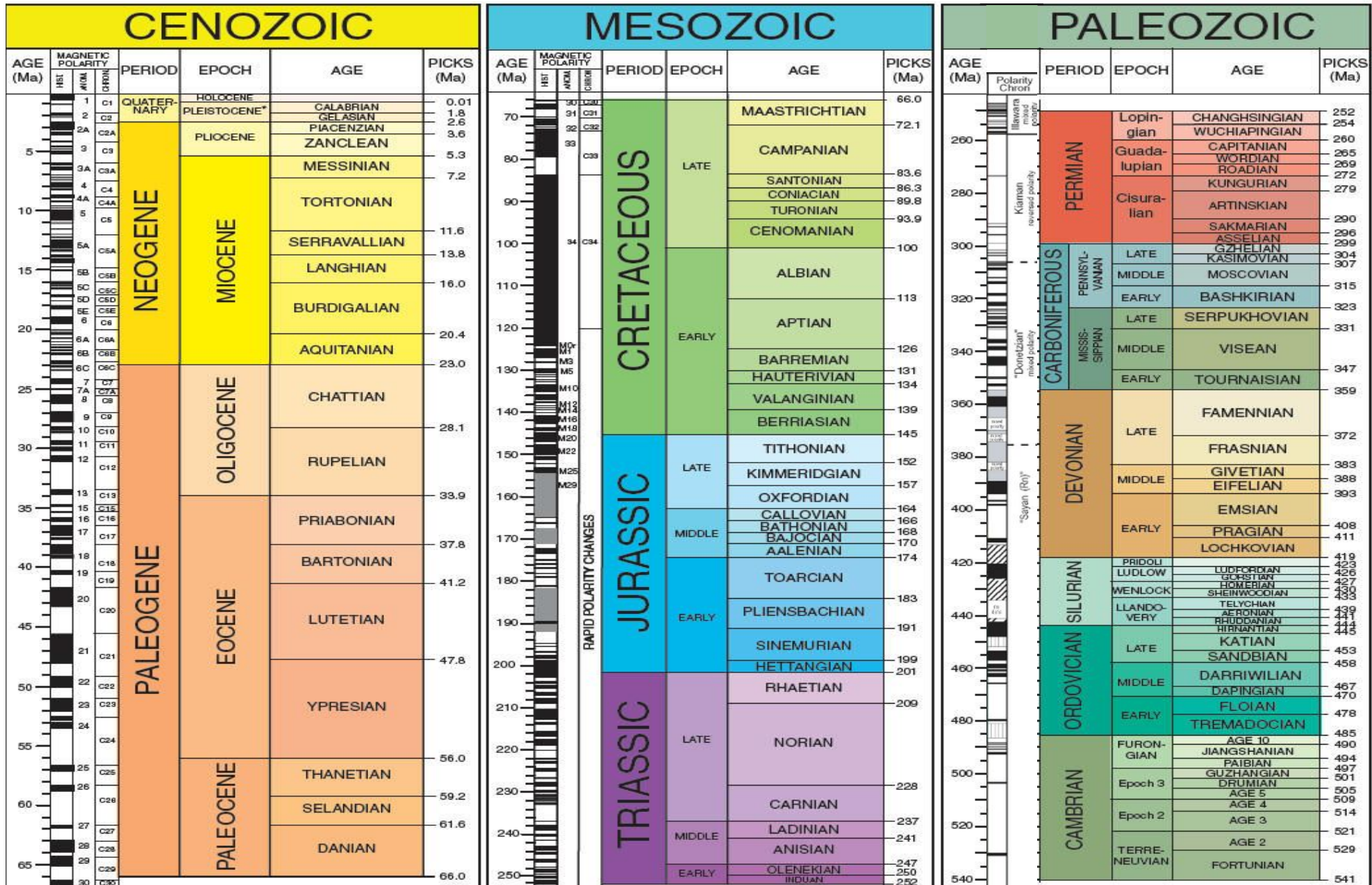
Geomagnetische ompoling

Magnetische omkeringen komen met onregelmatige tussenpozen. Het patroon van normale en omgekeerde polariteit in een serie gesteenten onderscheidt zich op dezelfde manier als jaarringen in een boom.



Geomagnetische tijdschaal

5x10⁴ - 3x10⁸ jaar



Radioactief verval sinds 1905 (1950)

$$M_n = M_0 e^{-\lambda t}$$

$$M_0 = M_n + D_n$$

$$D_n = M_n (e^{\lambda t} - 1)$$

$$D_n/M_n = e^{\lambda t} - 1$$

$$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = e^{-\lambda 238 t} - 1$$

$$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} = e^{-\lambda 235 t} - 1$$

M_n : aantal nu gemeten moeder-atomen

D_n : aantal nu gemeten dochter-atomen

M_0 : aantal oorspronkelijke moeder-atomen
(= aantal moeder- + dochter-atomen)

λ : vervalconstante van moeder-atoom

vervalconstante $\lambda = \ln 2 / t_{1/2}$

t : ouderdom van het te determineren mineraal

Randvoorwaarden:

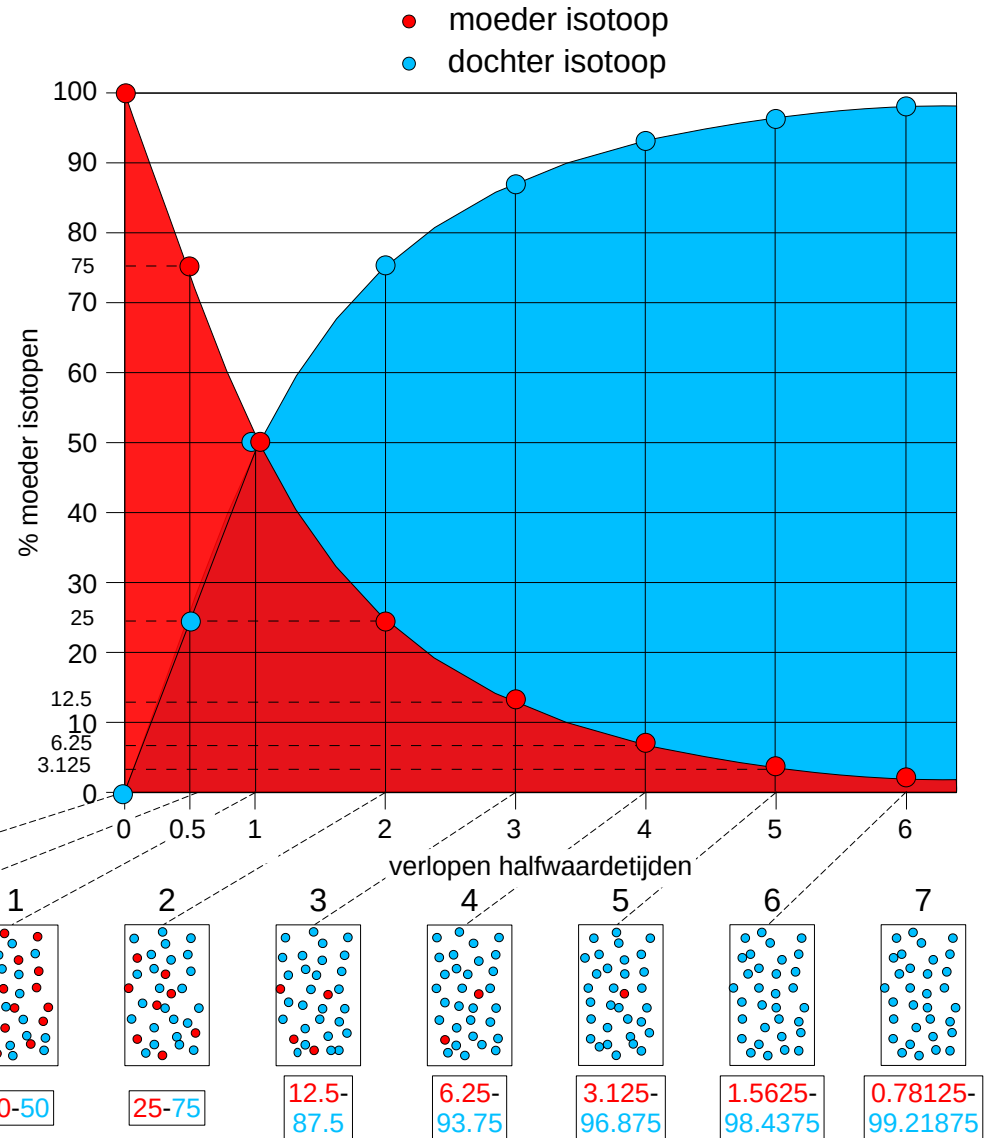
systeem gevormd in chemisch evenwicht

gesloten systeem voor moeder en dochter element

sinds vorming

geen chemische of thermische verstoring

onafhankelijk van fase, druk en temperatuur



Radioactieve dateringsmethoden

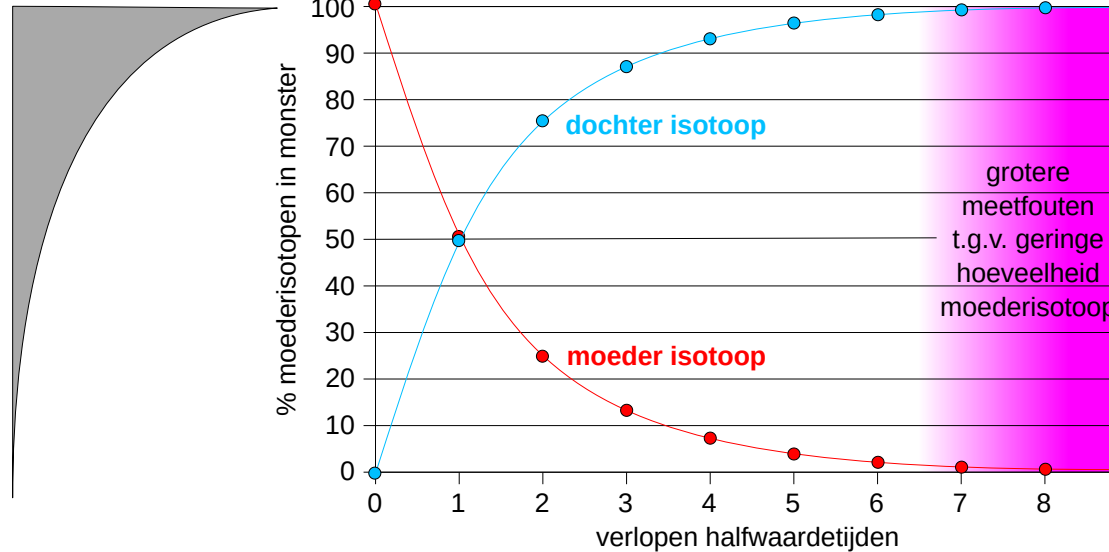
principe halveringstijden sinds 1907
toepassing voor dateringen sinds 1950

halveringstijden

^{14}C	>	^{14}N
^{234}U	>	^{230}Th
^{26}Al	>	^{26}Mg
^{129}I	>	^{129}Xe
^{235}U	>	^{207}Pb
^{40}K	>	^{40}Ar
^{238}U	>	^{206}Pb
^{87}Rb	>	^{87}Sr
^{147}Sm	>	^{143}Nd

kleurloze inerte gassen

5.73 ka
80 ka
720 ka
16.14 Ma
704 Ma
1.25 Ga
4.5 Ga
48.8 Ga
106 Ga



$$t = \frac{1}{c} \ln\left(1 + \frac{D}{P}\right)$$

t = ouderdom materiaal

P = concentratie moeder isotoop

D = concentratie dochter isotoop

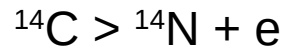
c = vervalconstante moeder isotoop

$t_{1/2}$ = halveringstijd moeder isotoop

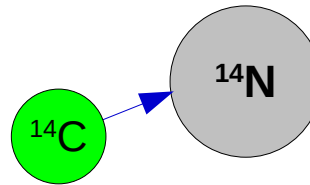
$$c = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$$

C14-datering

10 - 5x10⁵ jaar



$$T_{1/2} = 5736 \text{ jaar}$$

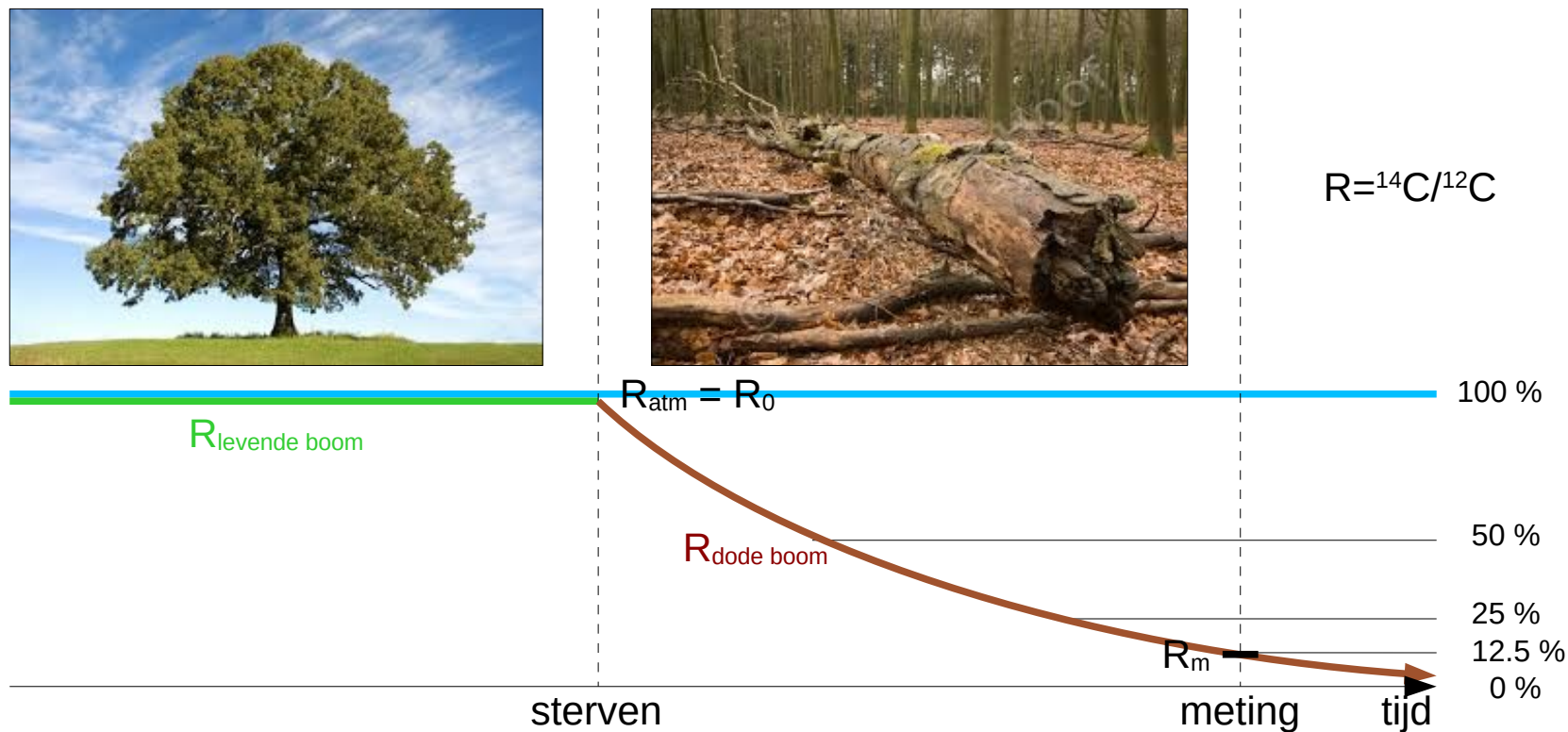


Ten gevolge van de kosmische straling wordt continue atmosferische N omzet in C-14.



Alle levende wezens hebben in hun lichaam nagenoeg dezelfde verhouding tussen C-14 en de stabiele C-isotopen (C-12 en C-13) als in de atmosfeer.

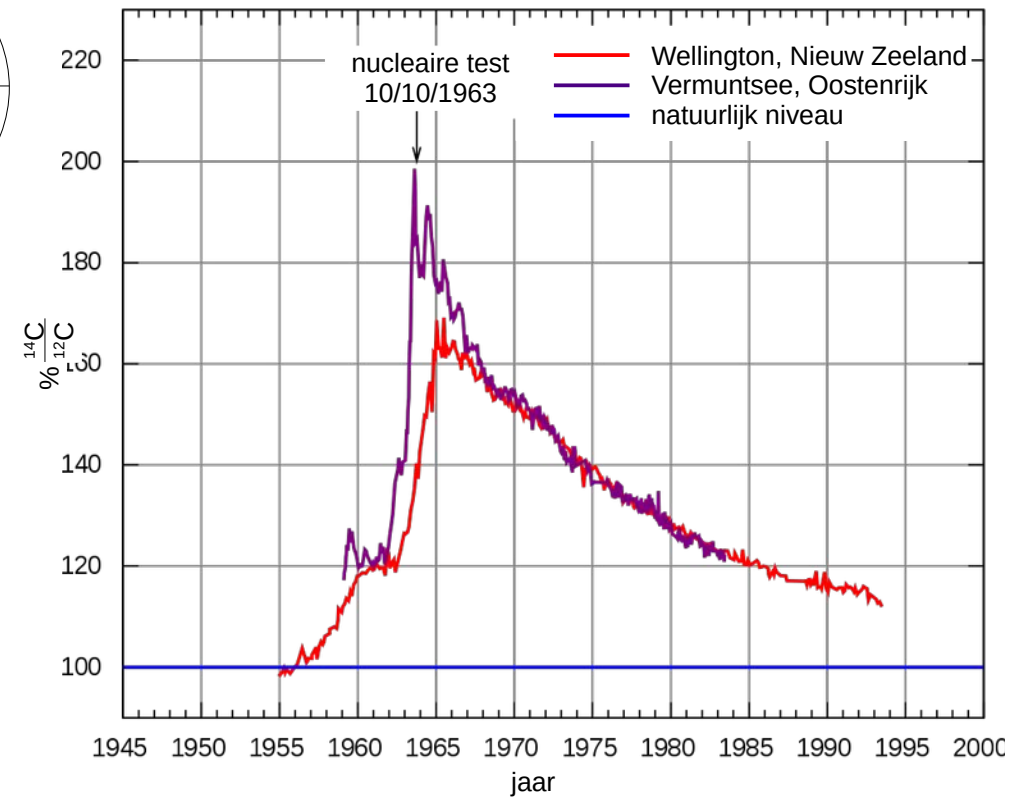
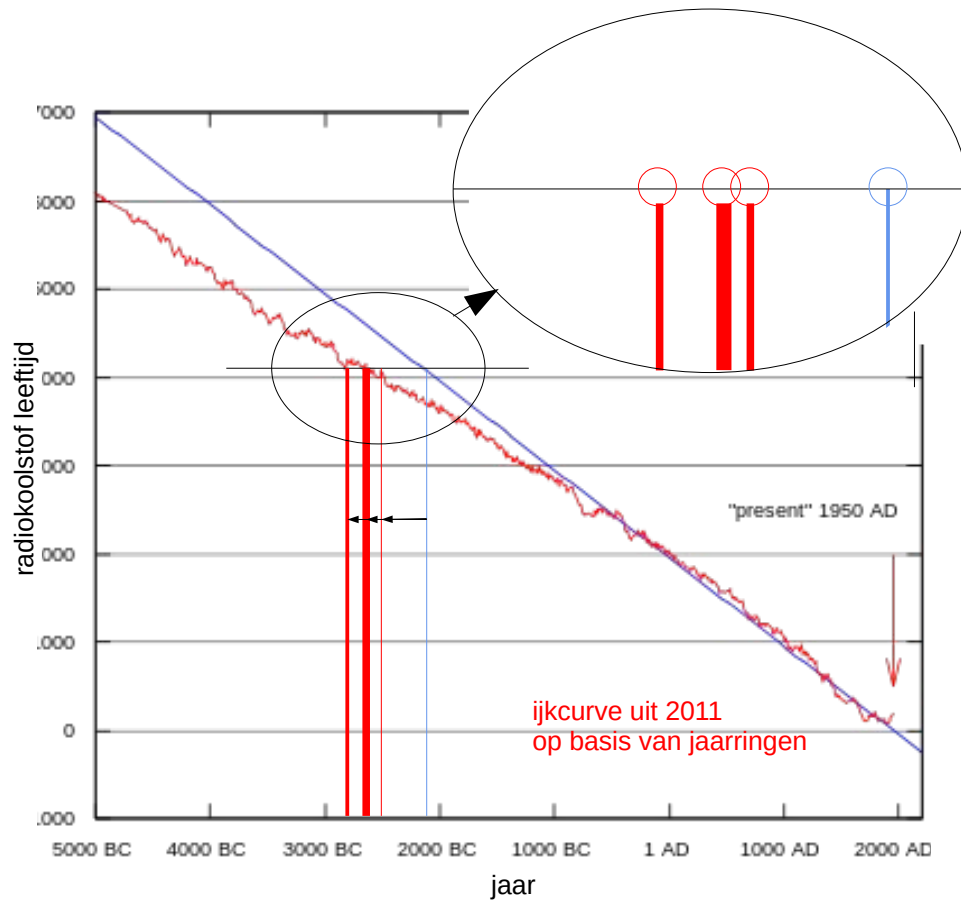
Na het sterven begint de afname van C-14 ten gevolge van radioactief verval.



Kalibratie ^{14}C

kalibratie is noodzakelijk, omdat de concentratie ^{14}C in de aardatmosfeer de afgelopen 50 000 jaar aan veranderingen onderhevig geweest is.

- variaties in de intensiteit van kosmische straling, veroorzaakt door zonnewind
- klimaatsverandering: veranderingen in de uitwisseling van C tussen diverse reservoirs
- bovengrondse kernproeven (^{14}C verdubbeld tijdelijk in jaren 50 en 60)
- verbranding van fossiele brandstoffen (zonder ^{14}C)



Uranium - lood verval

$^{235}\text{U} > ^{207}\text{Pb}$

$T_{1/2} = 7.04 \times 10^8$ jaar

$^{238}\text{U} > ^{206}\text{Pb}$

$t_{1/2} = 4.468 \times 10^9$ jaar

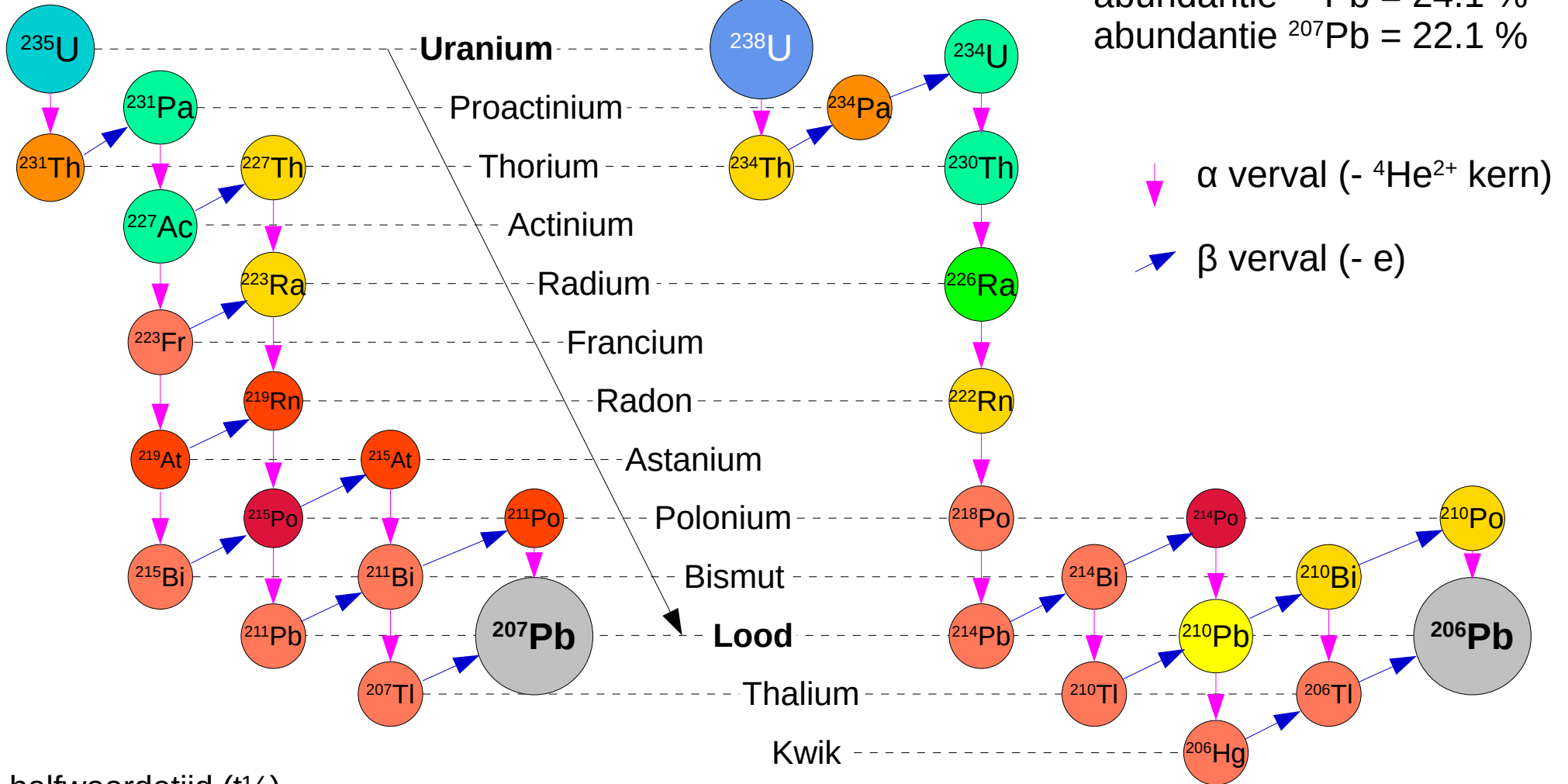
$10^6 - 4.5 \times 10^9$ jaar $\pm 0.1 - 1$ %

abundantie $^{235}\text{U} = 0.720$ %

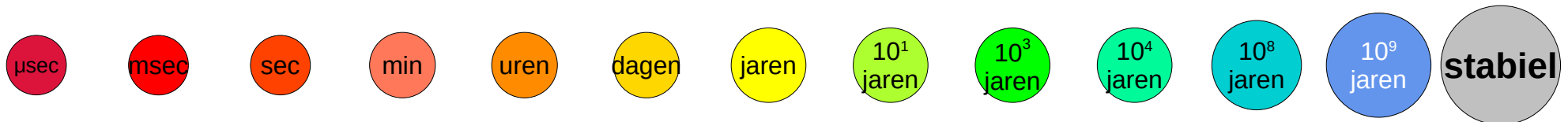
abundantie $^{238}\text{U} = 99.274$ %

abundantie $^{206}\text{Pb} = 24.1$ %

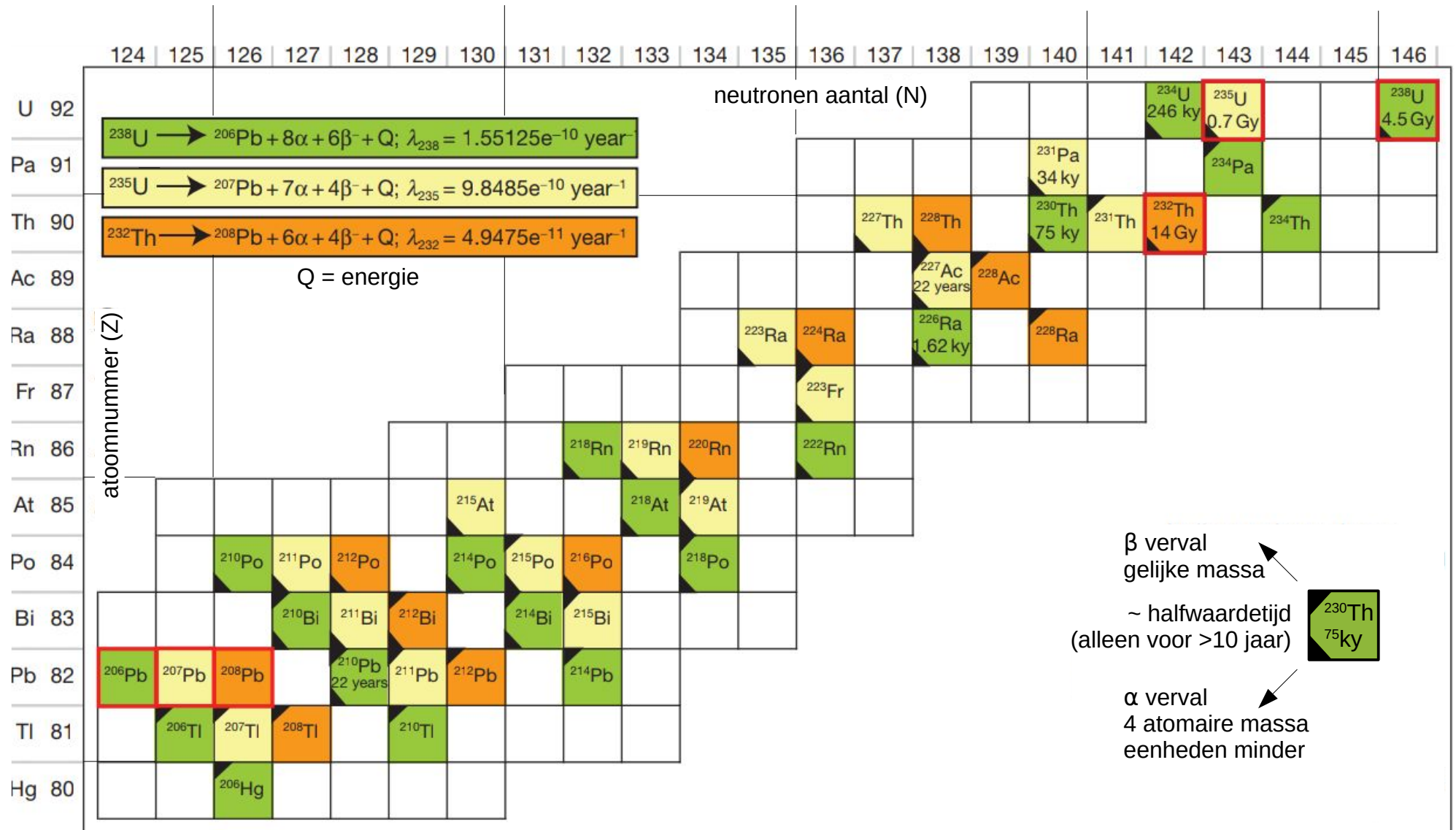
abundantie $^{207}\text{Pb} = 22.1$ %



halfwaardetijd ($t_{1/2}$)



Uranium / thorium - lood verval



Uranium - lood datering

$$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} = e^{-\lambda_{238} t} - 1$$

$$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} = e^{-\lambda_{235} t} - 1$$

U en Th atomen in het kristalrooster
Pb verstoten uit het kristalrooster

Zirkoon

Monaziet

Titaniet

Baddeleyiet/Zirconia
(Calciet, Aragoniet)

ZrSiO₄

(Ce, La, Th)PO₄

CaTiSiO₅

ZrO₂

CaCO₃

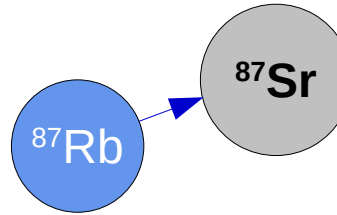


Rubidium - Strontium verval

$8 \times 10^6 - 5 \times 10^9$ jaar

$^{87}\text{Rb} > ^{87}\text{Sr}$

$T_{1/2} = 49.23 \times 10^9$ jaar



abundantie $^{87}\text{Rb} = 27.83 \%$

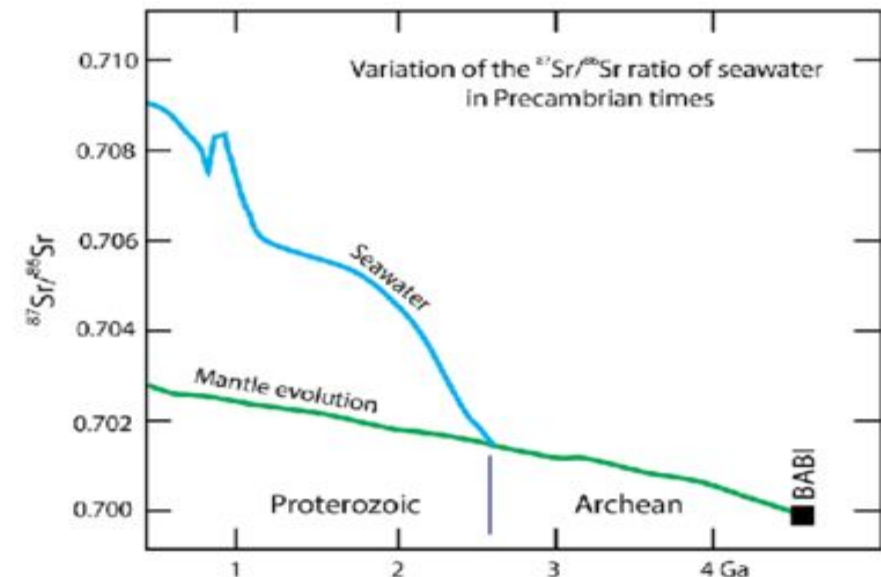
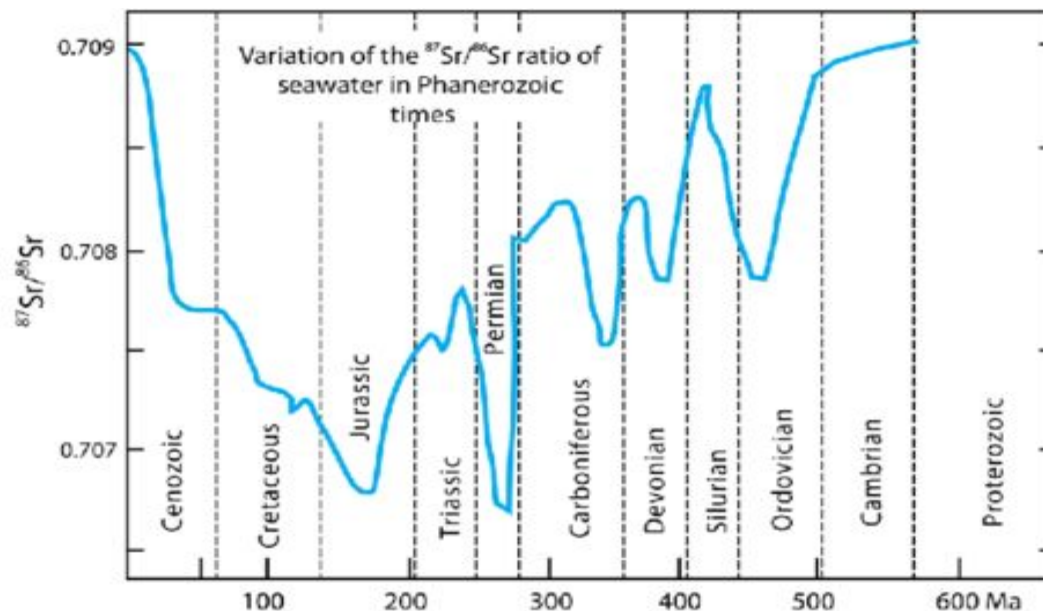
abundantie $^{87}\text{Sr} = 7 \%$

Sr vervangt K makkelijk in mineralen zoals plagioclaas, veldspaat, hornblende, biotiet en muscoviet.
Sr wordt relatief gemakkelijk opgenomen in kalk.

De veronderstelde verhouding tussen ^{86}Sr en ^{87}Sr tijdens de vorming van het materiaal (bv. in kalksteen) wordt vergeleken met deze verhouding in het onderzochte materiaal om de hoeveelheid ^{87}Sr te meten, die door verval uit ^{87}Rb is ontstaan.

De $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in zeewater schommelt gedurende de geologische tijdschaal.
Door verschillen in spreidingssnelheden, erosiesnelheden en de ligging van tektonische platen door de tijd wordt strontium in andere isotopenverhoudingen door rivieren naar zee gevoerd.

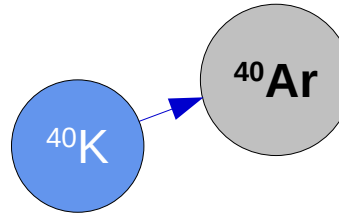
Het ratio is voor het Cenozoïcum vrij goed bekend, maar voor oudere tijdvakken is dit lastiger vast te stellen.



Kalium - Argon verval

$^{40}\text{K} > ^{40}\text{Ar}$

$T_{1/2} = 1.248 \times 10^9$ jaar



10 - 4×10^9 jaar

abundantie $^{40}\text{K} = 0.0117 \%$

abundantie $^{40}\text{Ar} = 99.6003 \%$

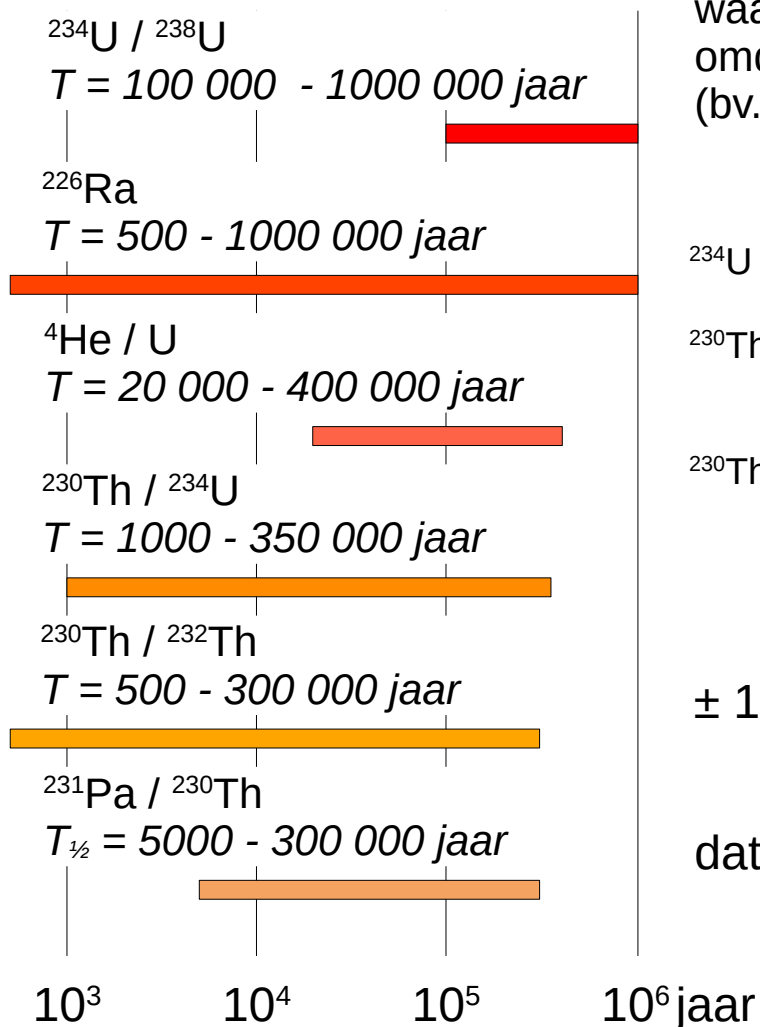
De $^{40}\text{K}/^{39}\text{K}$ ratio in natuur is constant. De ^{40}K wordt zelden direct gemeten. maar wordt aangenomen op 0.0117 % van de totale K.

Monsters moeten niet besmet zijn door absorptie van niet-radiogene ^{40}Ar uit de atmosfeer.

Monsters moeten in een gesloten systeem blijven (geen verlies van K of Ar).

U-serie disequilibrium

Deze technieken meten niet het stabiele eindproduct van een vervalreeks, maar de ouderdom wordt bepaald aan de mate waarin een seculaire evenwicht is hersteld tussen het moeder en dochter isotoop in een monster.



Een seculier evenwicht in de kernfysica is de situatie, waarin de hoeveelheid van een radioactieve isotoop constant blijft omdat de productiesnelheid gelijk is aan de vervalsnelheid. (bv. als gevolg van het trage verval van een moeder isotoop)

$$^{234}\text{U} / ^{238}\text{U} = 1 + A \times 2^{-t/245\ 000} \quad A = (^{234}\text{U} / ^{238}\text{U} - 1) \times 2^{t/245\ 000}$$

$$^{230}\text{Th} / ^{238}\text{U} = 1 + A / (1 - 75\ 000 / 245\ 000) \times 2^{-t/245\ 000} - (1 + A / 75\ 000 / 245\ 000) \times 2^{-t/75\ 000}$$

$$^{230}\text{Th} / ^{238}\text{U} = 1 + (^{234}\text{U} / ^{238}\text{U} - 1) \times 2^{t/245\ 000} / (1 - 75\ 000 / 245\ 000) \times 2^{-t/245\ 000} - (^{234}\text{U} / ^{238}\text{U} - 1) / (1 - 75\ 000 / 245\ 000) \times 2^{t/245\ 000 - t/75\ 000}$$

± 1 % nauwkeurigheid

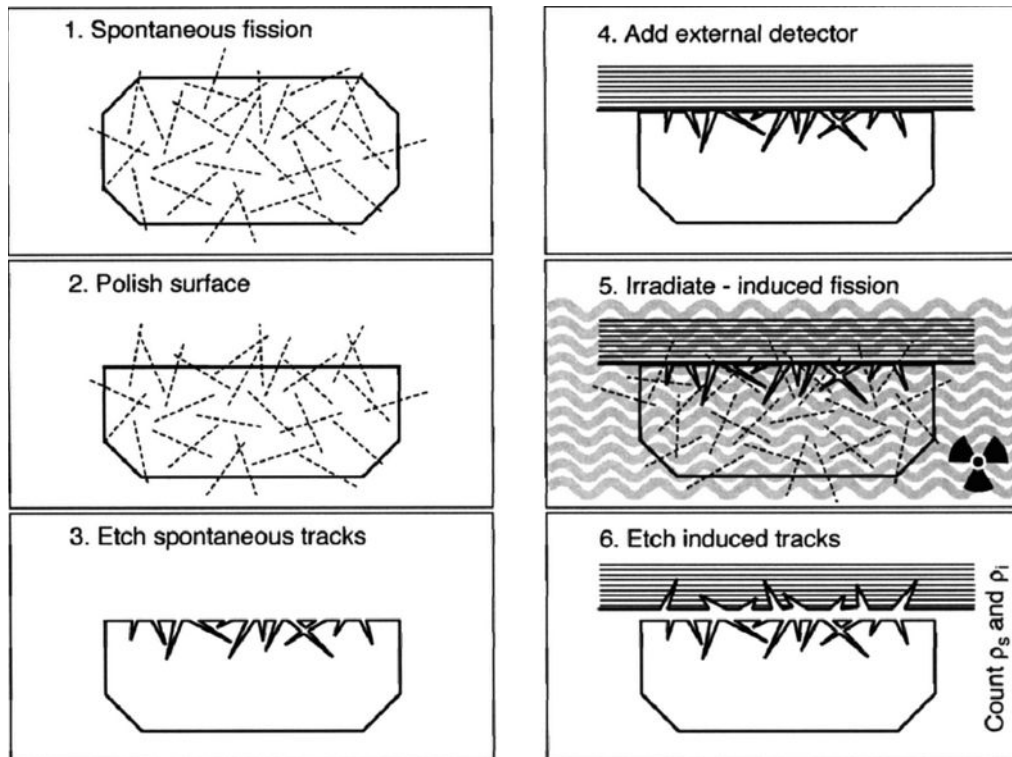
datering van carbonaten en fosfaten

Fission track dating

2×10^5 - 3.5×10^8 jaar

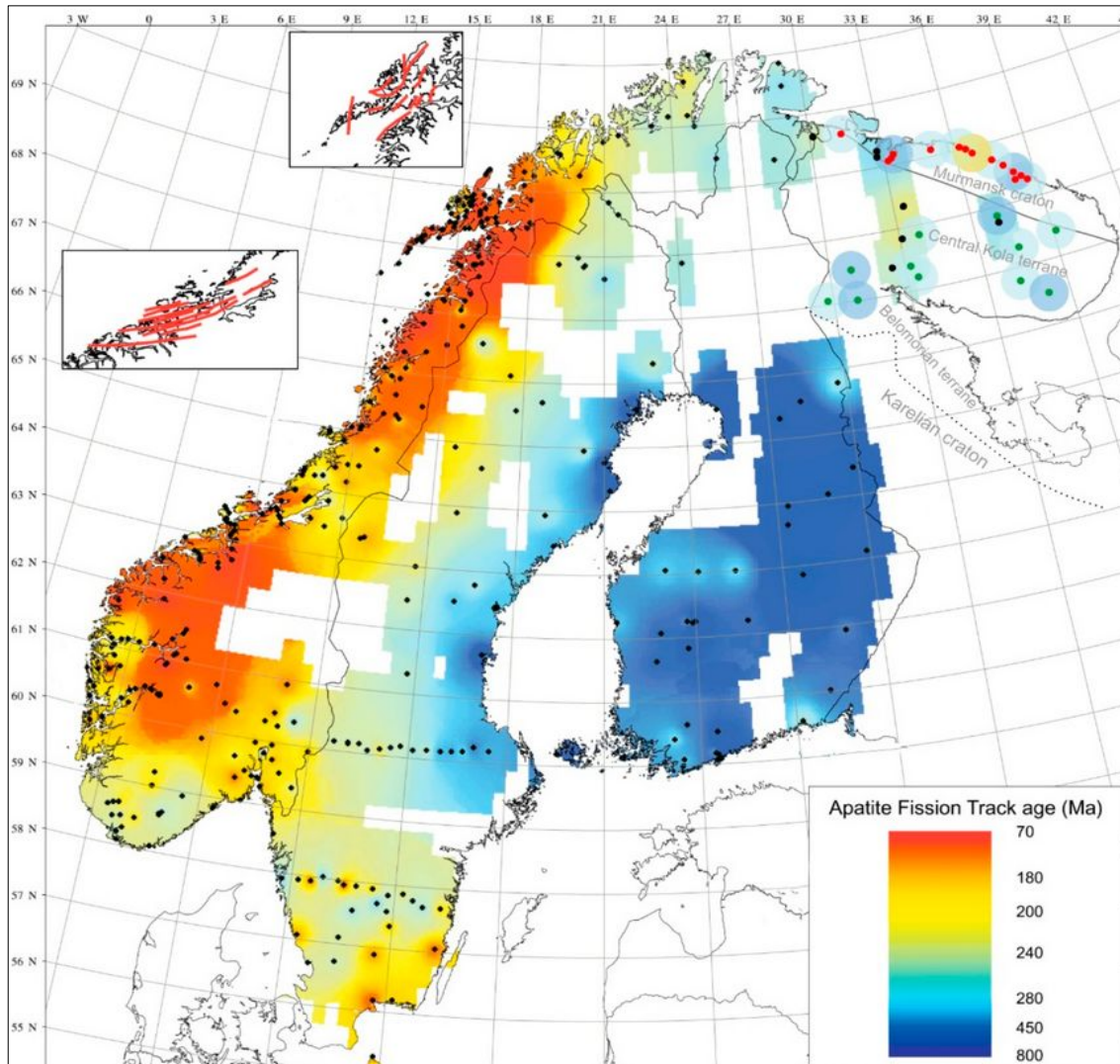
^{238}U ondergaat spontaan splijtingsverval met een bekende snelheid en het is de enige isotoop met een vervalsnelheid relevant voor de significante productie van natuurlijke splijtingssporen. De fragmenten, die bij dit splijtingsproces vrijkomen, laten sporen van schade achter in het kristal

De geëtste sporen zijn relatief groot (1 tot 15 micrometer). Daarom kunnen ze geteld worden met optische microscopie, hoewel ook andere beeldvormende technieken worden gebruikt. De dichtheid van fossiele etssporen hangt samen met de afkoeltijd en met het uraniumgehalte van het monster, die onafhankelijk moeten worden bepaald.



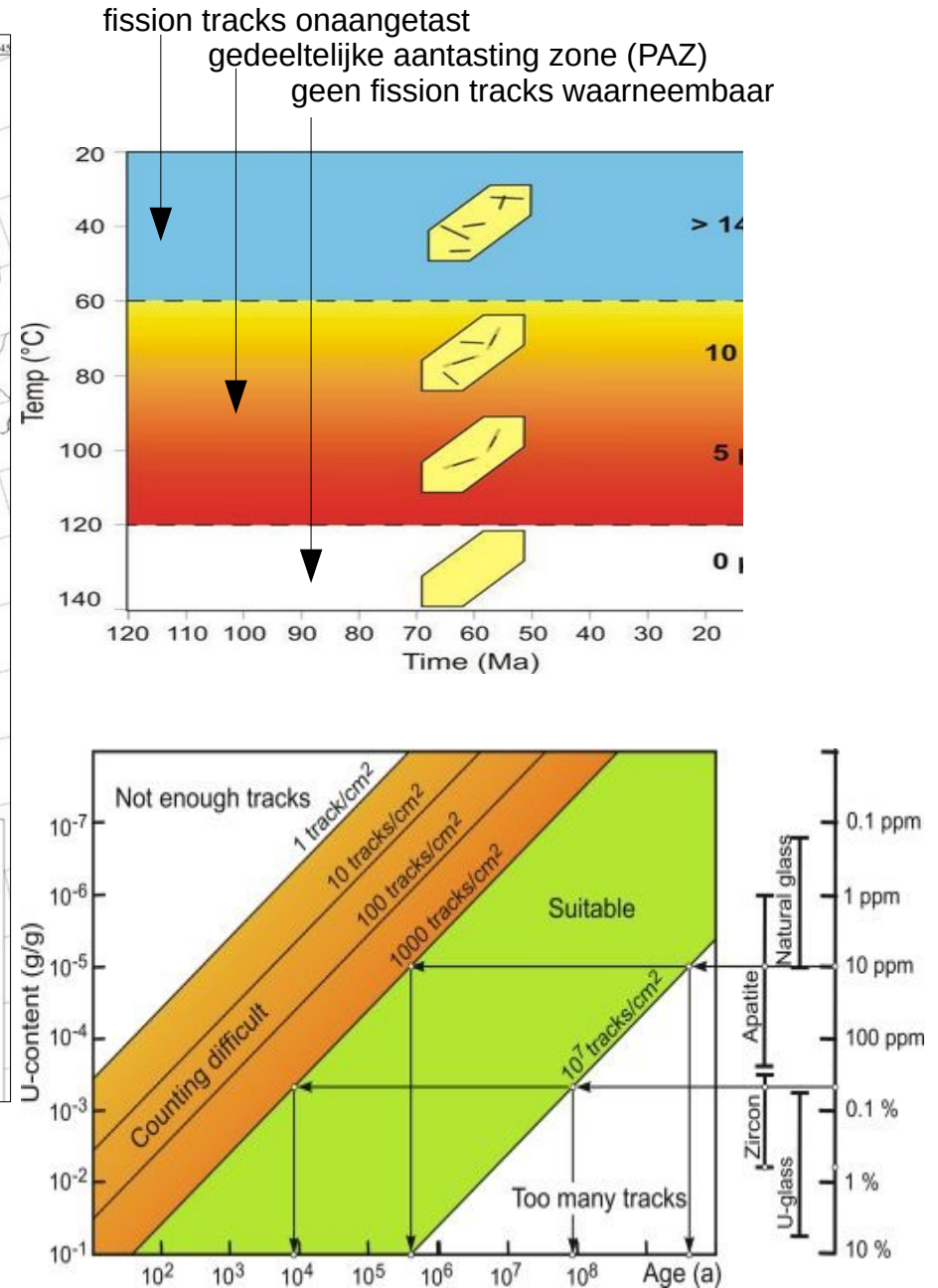
o.a.:
Apatiet
Zirkoon
Glas

Fission track



Apatiet fission track data van het Murmansk Kraton

fission tracks in apatiet / temperatuur



Elektron spin resonantie

10³ - 10⁶ jaar

ESR-datering meet de hoeveelheid ongepaarde elektronen in kristallijne structuren die eerder werden blootgesteld aan natuurlijke straling.

De ouderdom van de stof kan worden bepaald door de stralingsdosis te meten sinds het ontstaan ervan.

De ESR-leeftijd van een stof wordt gevonden uit de vergelijking: $D_E = \int_0^T D(t) \cdot dt$

D_E = de equivalente dosis (paleodosering in Gray of Gy)

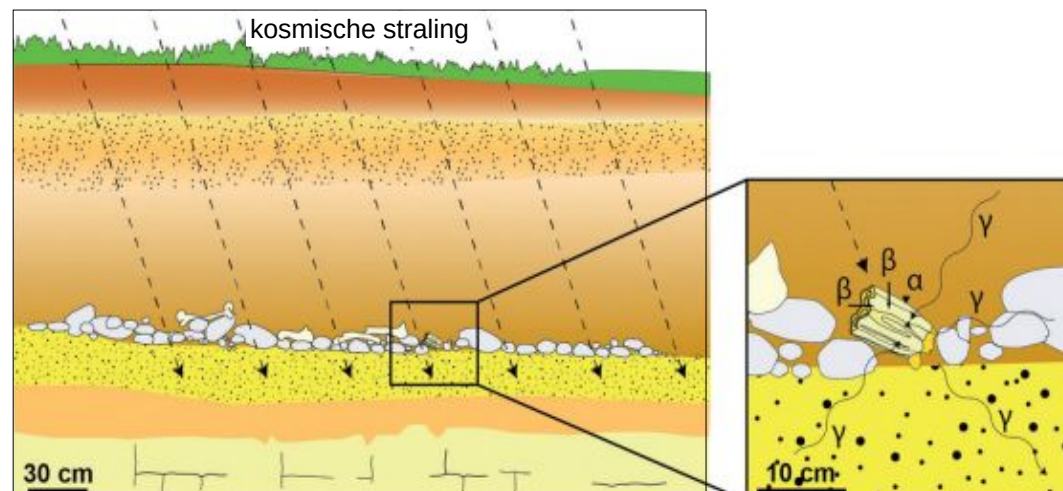
d.w.z. de hoeveelheid straling, die een monster heeft ontvangen gedurende de tijd

die is verstreken tussen het op nul stellen van de ESR-klok ($t = 0$) en de bemonstering ($t = T$).

$D(t)$ is het dosistempo (in Gy/ka of microGy/a), de gemiddelde dosis die door het monster in 1 jaar wordt geabsorbeerd. Als $D(t)$ in de tijd als constant wordt beschouwd, wordt de vergelijking:

$$T = D_E / D$$

T = de leeftijd van het monster, d.w.z. de tijd gedurende welke het monster is blootgesteld aan natuurlijke radioactiviteit sinds het ESR-sigitaal voor het laatst is gereset. Dit gebeurt door de ingesloten lading vrij te geven, gewoonlijk door oplossen/rekristallisatie, warmte, optische bleking of mechanische spanning.



Thermoluminescentie

$10^2 - 7 \times 10^5$ jaar
 $\pm 5 - 10 \%$

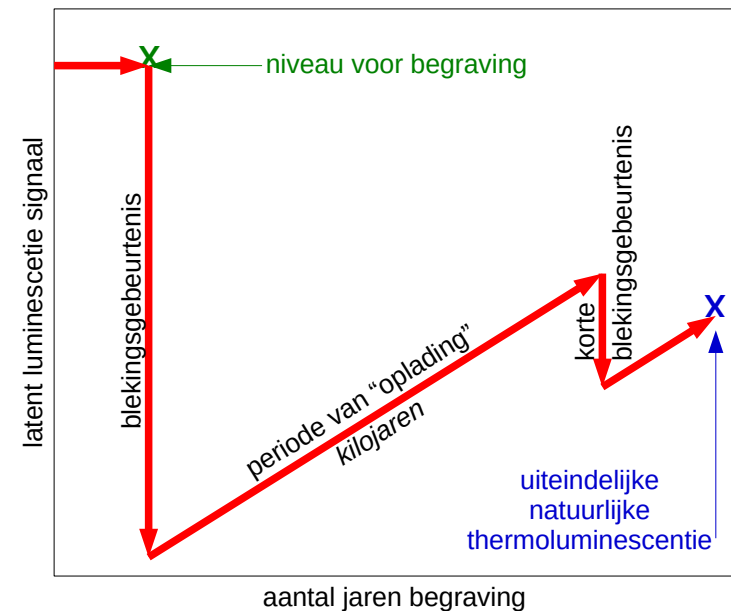
Thermoluminescentie (TL) datering van een materiaal (kwarts, veldspaat of calciet) is gebaseerd op het meten van de hoeveelheid licht die eruit vrijkomt naar aanleiding van thermische stimulatie. Ook optische stimulatie is mogelijk (optical stimulated luminescence of OSL).

Als een mineraal in de zon of in een vuur heeft gelegen, is de latente luminescentie in het materiaal vrijwel verdwenen en is daardoor de luminescentie "klok" op nul gezet.

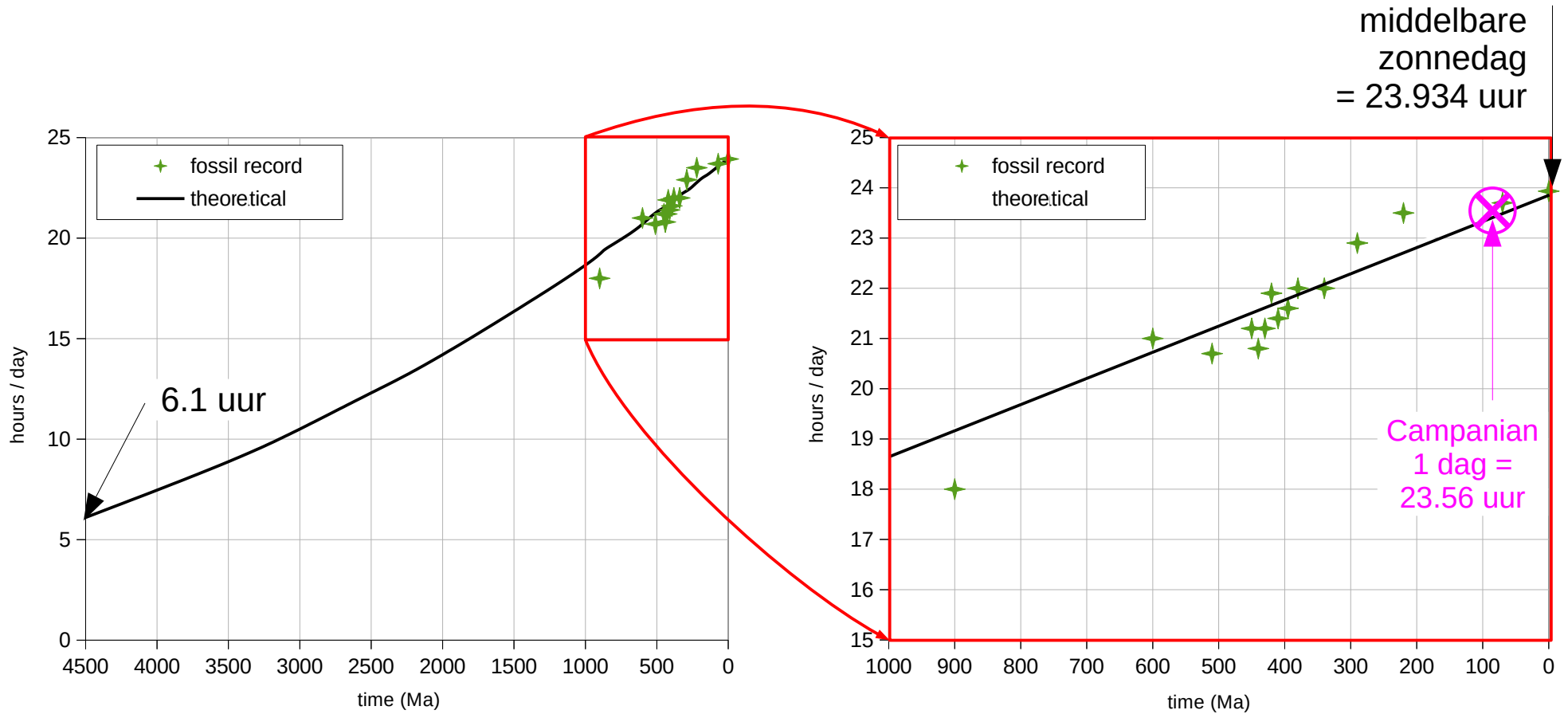
Wordt dat mineraal begraven onder sedimenten, dan neemt de luminescente potentie weer toe door het absorberen van de natuurlijke achtergrondstraling veroorzaakt door radioactieve isotopen in de grond en enige kosmische straling. De kristallijne structuren raken "aangeslagen" waardoor de energie van de straling wordt opgeslagen.

Als het materiaal na opgraving thermisch (of optisch) wordt gestimuleerd, komt de opgeslagen energie weer vrij als een zwak licht. Dit licht is een maatstaf voor de stralingshoeveelheid, die is opgeslagen.

De leeftijd van het mineraal wordt bepaald door de totale hoeveelheid opgeslagen straling (de paleodosering) te delen door de jaarlijkse hoeveelheid opgeslagen straling.



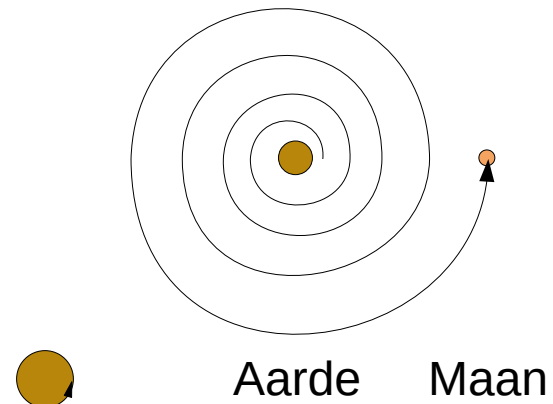
Daglengte op Aarde



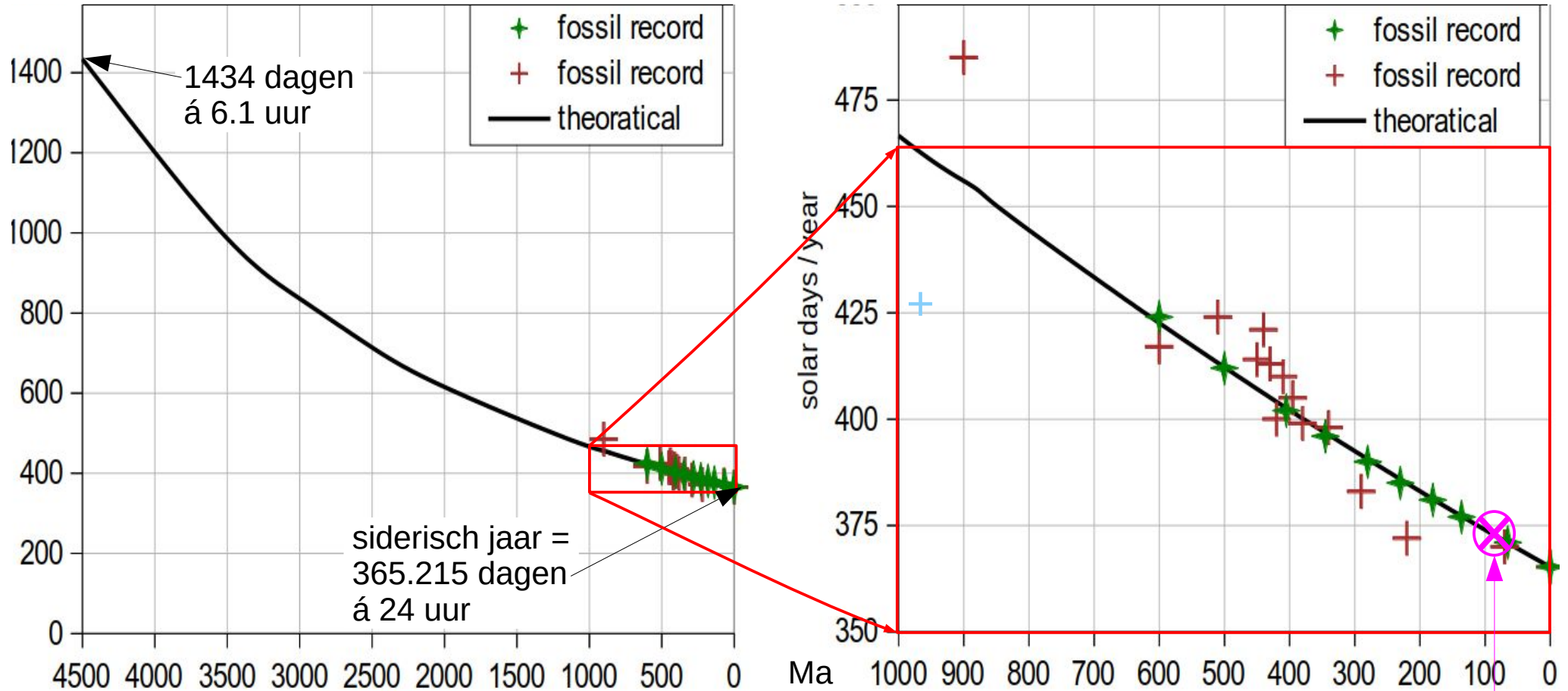
gemiddelde toename daglengte = 1.4 msec / eeuw

toename daglengte 2020 = 2.3 msec / eeuw

aanname: omloop Aarde = 1 jaar = constant



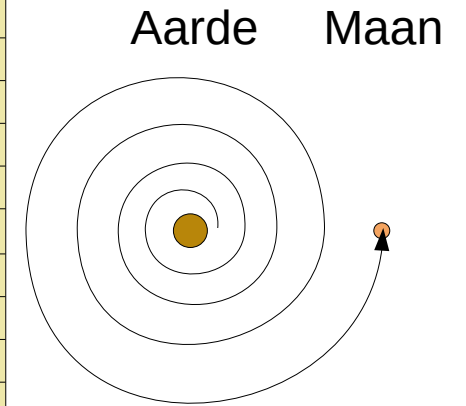
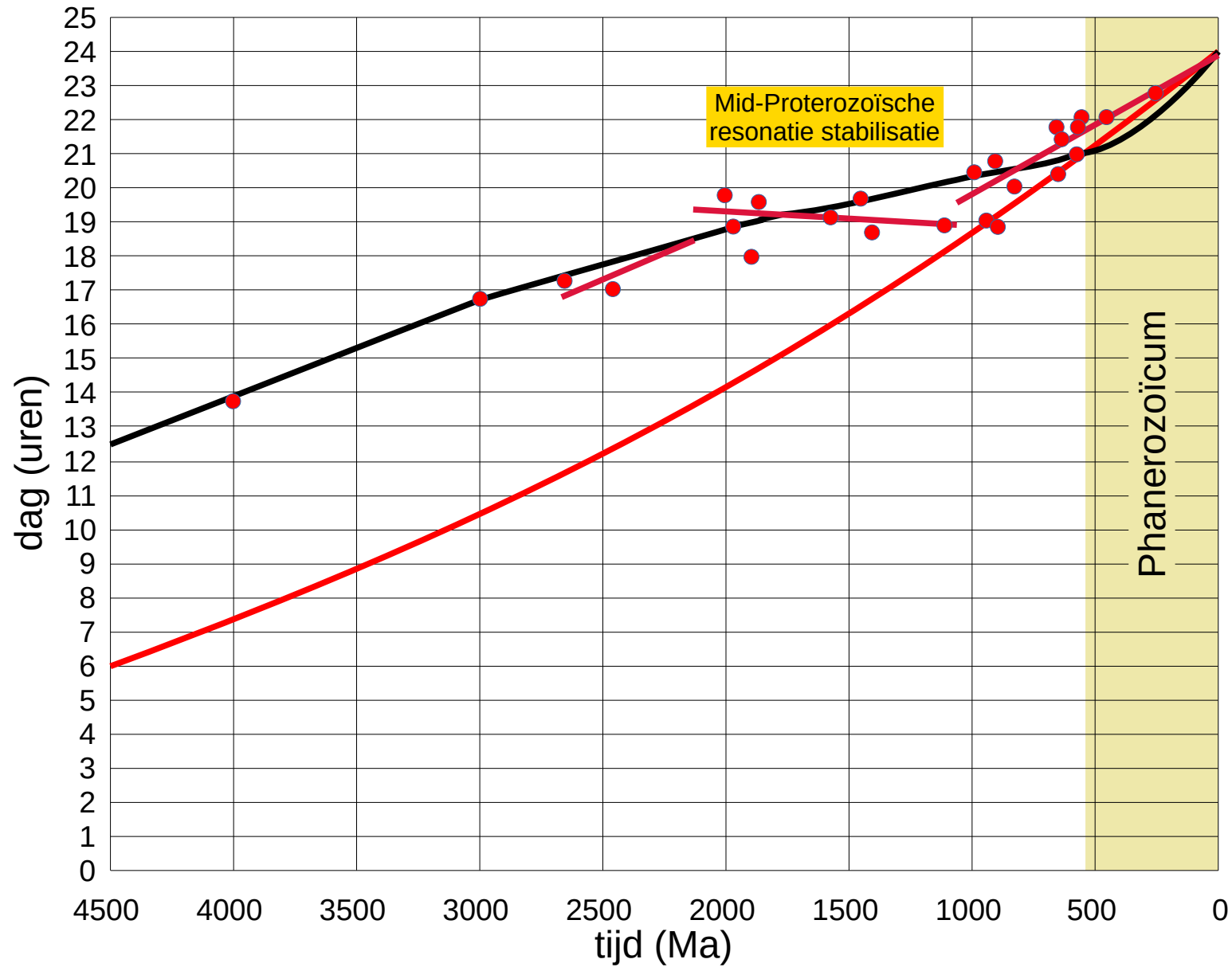
Dagen per jaar



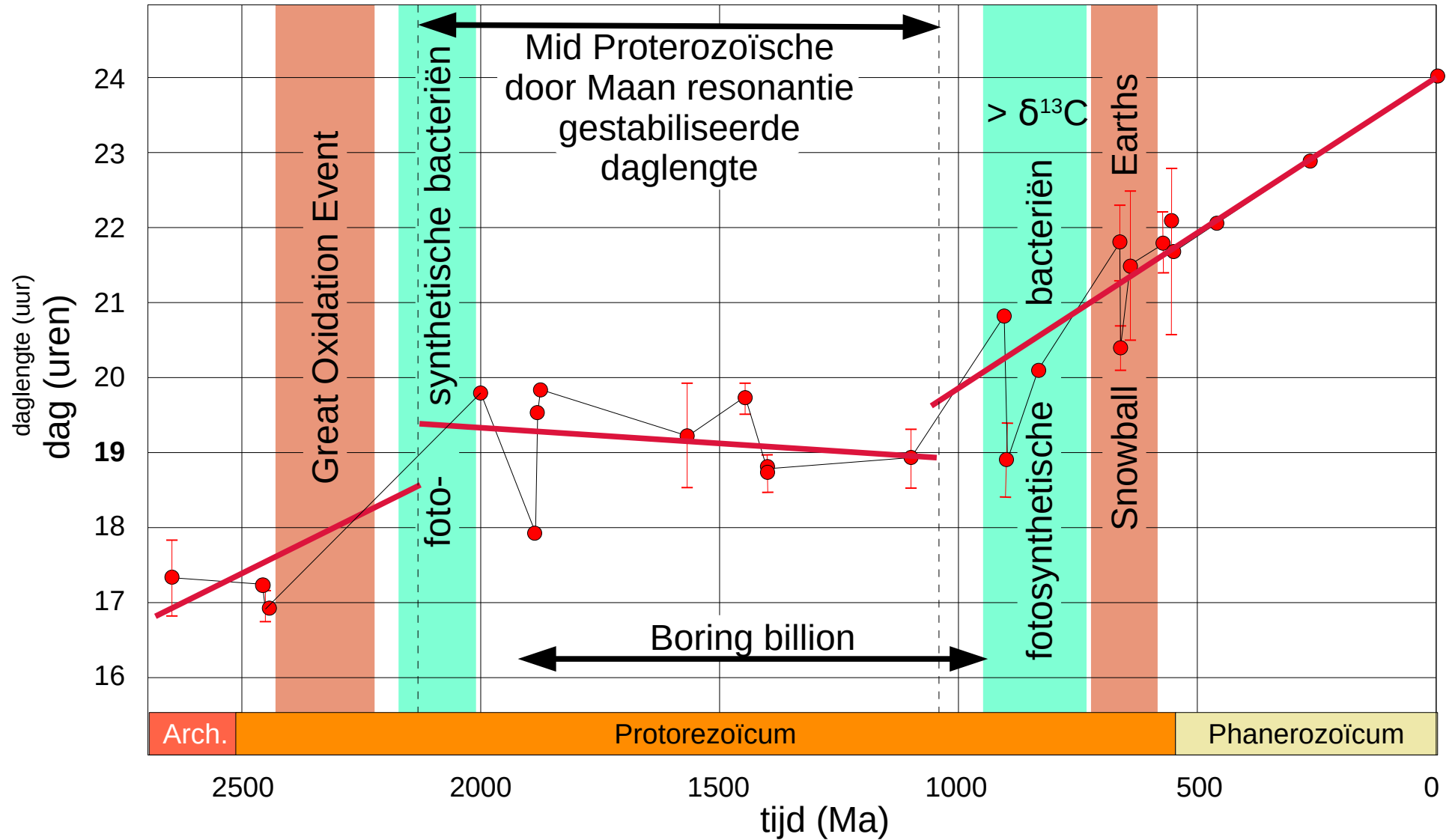
gemiddelde toename = 0.2375 dagen / Ma
 gemiddelde toename \approx 2.05 ms / eeuw

Campanian
 1 jaar = 372 dagen
 á 23.56 uur
 (GEA 53-2)

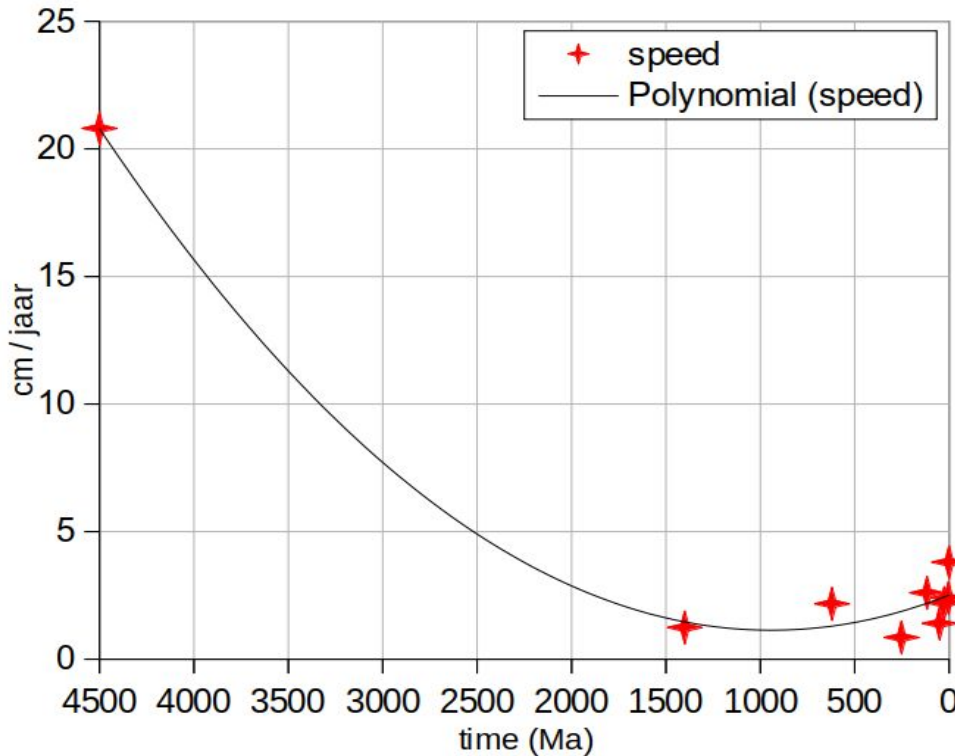
Toename daglengte in geologische tijd



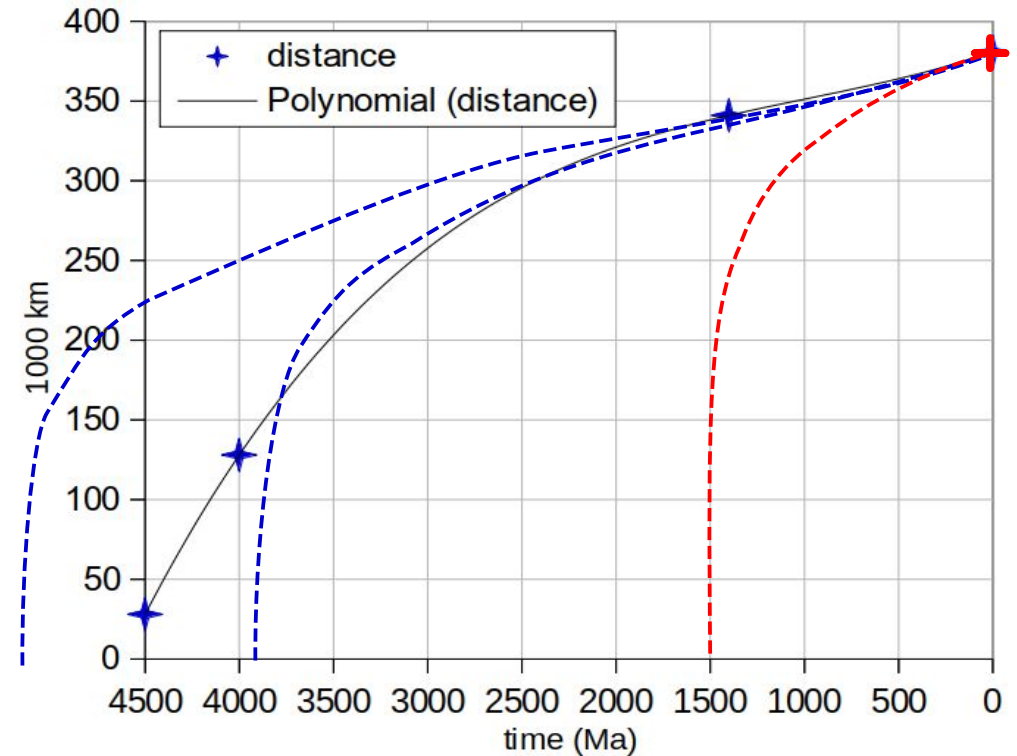
Daglengte op Aarde



Uiteendrijven Aarde - Maan snelheid



afstand

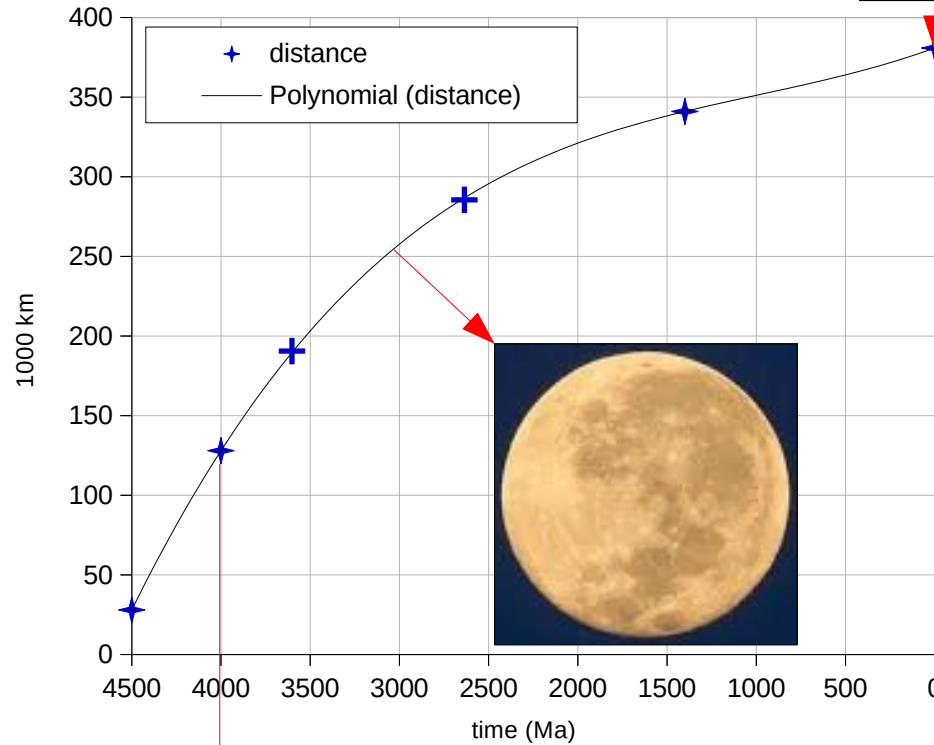


toename afstand 2020 = 3.82 cm / jaar
(afstand maan nu = 384400 km)
*indien die snelheid representatief is voor het verleden
dan kan de Maan niet ouder zijn dan 1.5 Ma*

variaties in snelheid (buiten toename afstand) door:
continent drift: verdeling oceanen
ijstijden: minder getijde water

als dan en maar tijd = t_{∞} = zeer ver in de toekomst
rotatie Aarde = omloop Maan
daglengte t_{∞} = 45 dagen = 1080 uur
 $t_{\infty} \gg \gg$ levensduur Zon (≈ 5 Ga)

Afstand Aarde - Maan



getijdekracht op Aarde
 (per massaeneheid)
 van de Maan $\approx 2x$ Zon
 Zon = constant

Aarde Ma	afstand (m)	getijdekracht GM2r/d ³	sterkte x	
nu	0	3.84E+08	1.10E-09	1.00
Mesoproterizoïcum	1400	3.41E+08	1.57E-09	1.43
Neoarcheïcum	2650	2.88E+08	2.61E-09	2.37
Basis Paleoarcheïcum	3600	1.92E+08	8.82E-09	8.00
Basis Eoarcheïcum	4000	1.28E+08	2.98E-08	27.00
Hadeïcum	4450	9.60E+07	7.05E-08	64.00
ontstaan Aarde	4500	2.80E+07	2.84E-06	2579

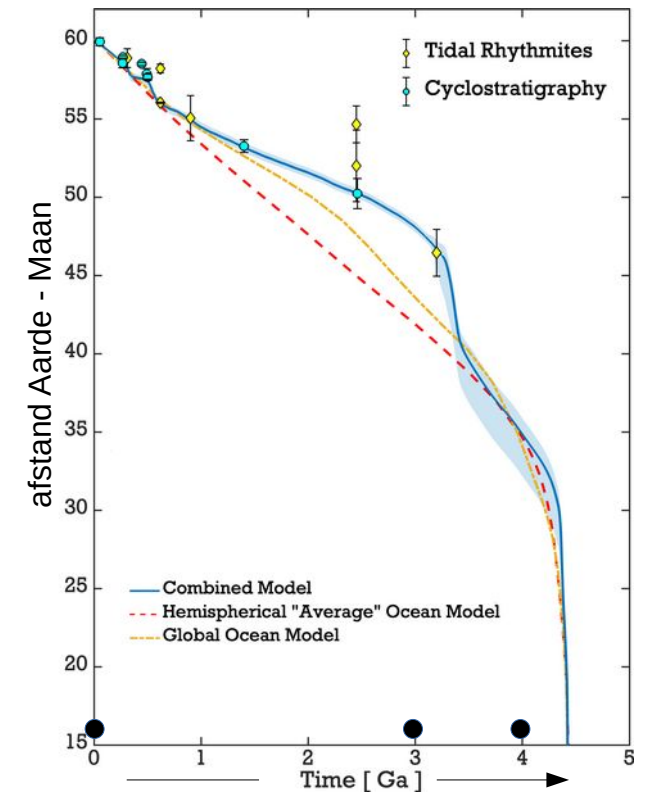


schijnbare groottes
 van de Maan
 vanaf de Aarde

Maan 4 miljard jaar geleden



3 miljard jaar geleden

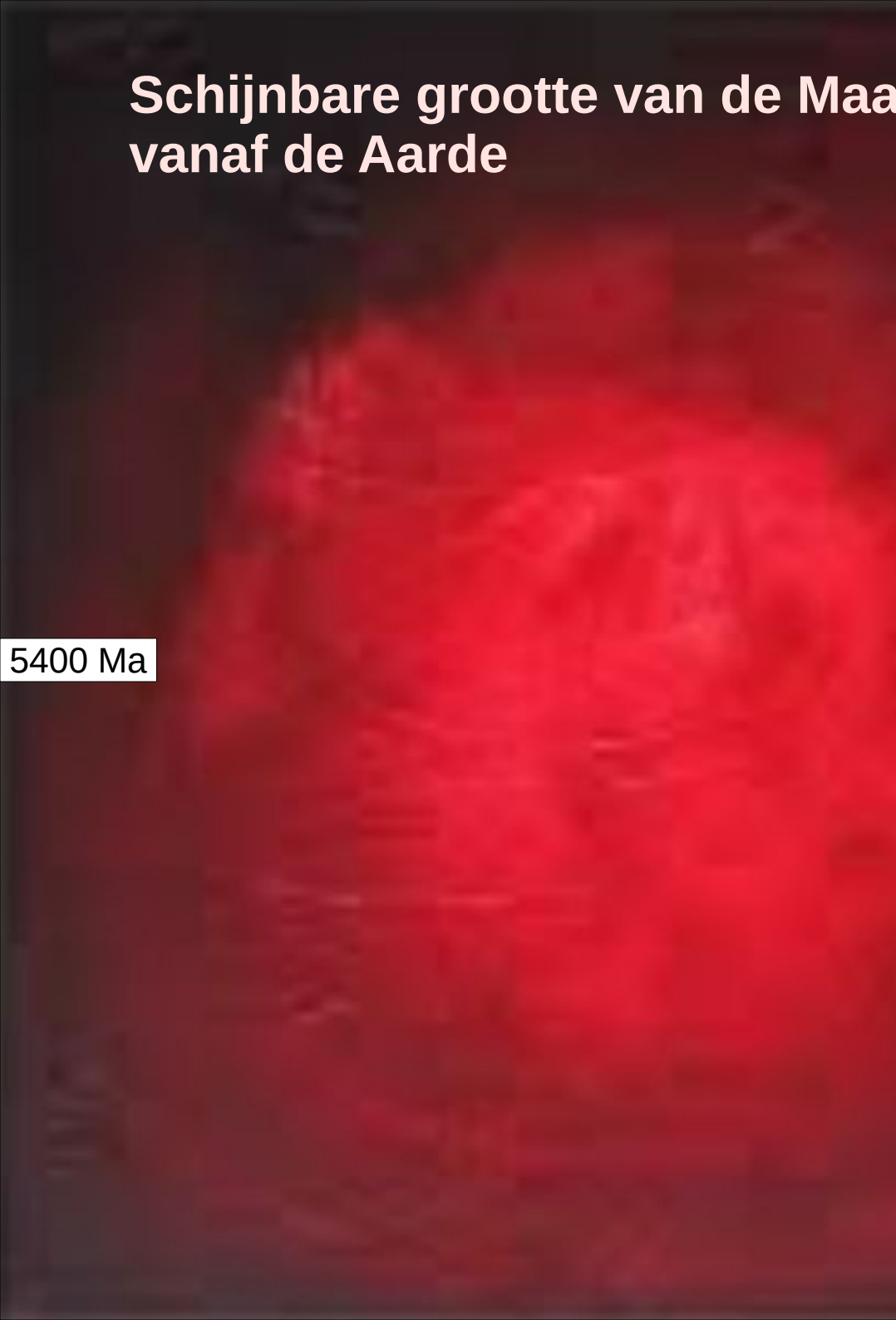


nu



Schijnbare grootte van de Maan vanaf de Aarde

5400 Ma



15x

Einde



Bronnen

https://en.wikipedia.org/wiki/Historical_geology
[https://en.wikipedia.org/wiki/Geologic_time_scale#/media/File:Geologic_time_scale_-_spiral_-_ICS_colours_\(light\)_-_path_text.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Geologic_time_scale#/media/File:Geologic_time_scale_-_spiral_-_ICS_colours_(light)_-_path_text.svg)
<https://www.geological-digressions.com/bishop-james-ussher-and-the-beginning-of-everything/>
https://opengeology.org/textbook/wp-content/uploads/2016/07/07.4_Block_diagram.jpg
<https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/dating-rocks-and-fossils-using-geologic-methods-107924044/#:~:text=To%20establish%20the%20age%20of,clocks%20to%20date%20ancient%20events.>
https://www.researchgate.net/figure/Decay-series-of-A-uranium-238-238-U-B-uranium-235-235-U-and-C-thorium-232_fig4_313744940
https://homepage.uni-tuebingen.de/wolfgang.siebel/pdffiles/geochron_8.pdf
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Monaziet>
https://www.researchgate.net/figure/ariation-of-the-87-Sr-86-Sr-ratio-of-seawater-in-Phanerozoic-and-Precambrian-times-BABI_fig1_300927640
<https://www.joostdevree.nl/shtmls/c14-datering.shtml>
https://www.brown.edu/Departments/Joukowsky_Institute/courses/greekpast/4781.html
https://simple.wikipedia.org/wiki/Radiocarbon_dating
<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1487-fission-track-and-luminescence-dating>
https://www.researchgate.net/figure/The-sequence-of-steps-involved-in-the-external-detector-method-of-fission-track-dating_fig6_238448391
<https://www.mdpi.com/2075-163X/10/12/1095>
https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-showing-the-annealing-behavior-of-apatite-fission-tracks-with_fig22_316686463
<https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoluminescence>
<https://journals.openedition.org/quaerenaire/8003>
<https://en.wikipedia.org/wiki/Paleomagnetism>
<https://en-academic.com/dic.nsf/enwiki/1050062>
<https://rock.geosociety.org/net/documents/gsa/timescale/timescl.pdf>
<https://rses.anu.edu.au/tectonics/links/images/timescale.png>
https://www.researchgate.net/figure/Left-Paleozoic-time-scale-and-geomagnetic-polarity-time-scale-GPTS-after-compilation_fig3_233754223
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Milankovi%C4%87-parameters>
<https://modernsciences.org/our-moon-has-been-slowly-drifting-away-from-earth-over-the-past-2-5-billion-years/>
<https://www.nature.com/articles/ncomms3452>
https://www.researchgate.net/figure/Example-of-Milankovics-cycles-at-geological-section-in-Punta-di-Maiata-Sicily-HilGEn_fig2_350277556
<https://suvratk.blogspot.com/2011/02/milankovitch-cycles-and-carbonate.html>
<https://www.earthhistory.org.uk/questions-of-age/chalk-images>
<https://www.joostdevree.nl/shtmls/dendrochronologie.shtml>
<https://kennis.cultureelerfgoed.nl/index.php/Dendrochronologie>
<https://x.com/dharamveerifs/status/1404403341749194754>
<https://earthsci.org/space/space/geotime/dendro/dendro.html>
<https://en.wikipedia.org/wiki/Dendrochronology>
https://en.wikipedia.org/wiki/National_Science_Foundation_Ice_Core_Facility
<https://www.antarcticglaciers.org/glaciers-and-climate/ice-cores/ice-core-basics/>
<https://www.eoswetenschap.eu/natuur-milieu/aardbevingen-voorspellen-dankzij-het-geheugen-van-meren>
<https://pixels.com/featured/four-seasons-twin-lakes-reflection-aaron-spong.html>
<https://phys.org/news/2023-06-billion-years-earth-history-days.html>