

HOE MAAK JE EEN BEWOONBARE PLANEET?

Wat is nodig voor
'life as we know it'?

*KNAG Onderwijsdag 071114
Dr. Bernd Andeweg
Aardwetenschappen VU Amsterdam
Bernd.andeweg@vu.nl*

IETS SPECIAALS... LEVEN

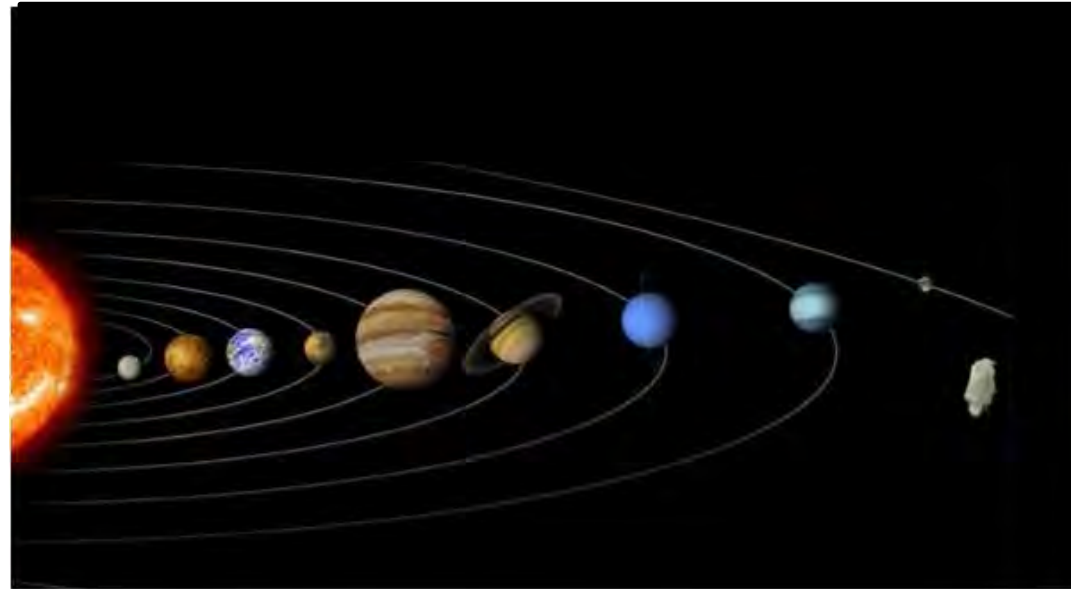


ONS ZONNESTELSEL: WAT WETEN WE HOE?

Wat is er dan anders op Aarde?

Gegevens:

- 1) Banen, volume en massa planeten
- 2) Indirecte chemische metingen
- 3) Directe chemische analyse gesteente van Aarde, maan en Mars!
- 4) Chemische samenstelling meteorieten

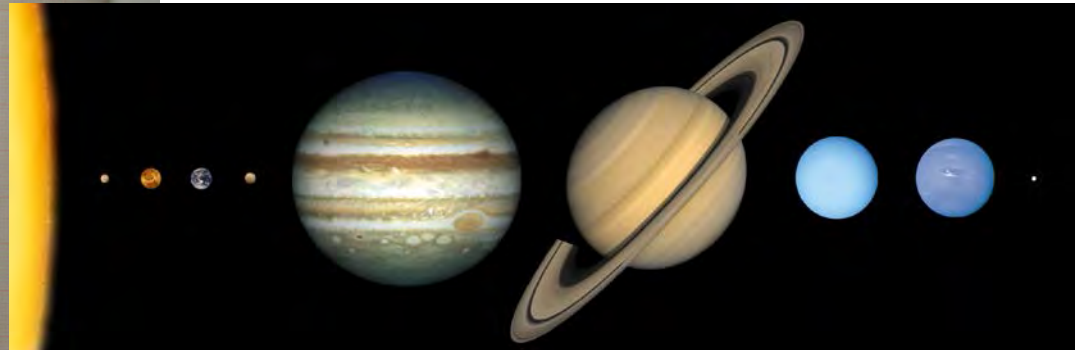


1. BAAN, VOLUME & MASSA (I)

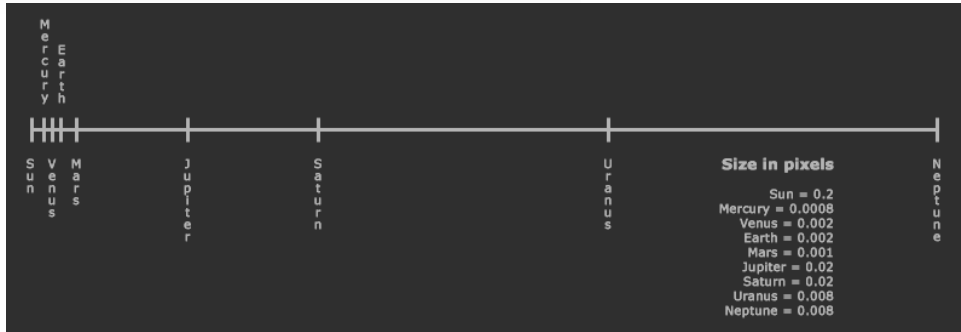
Relatie afstand zon/grootte?



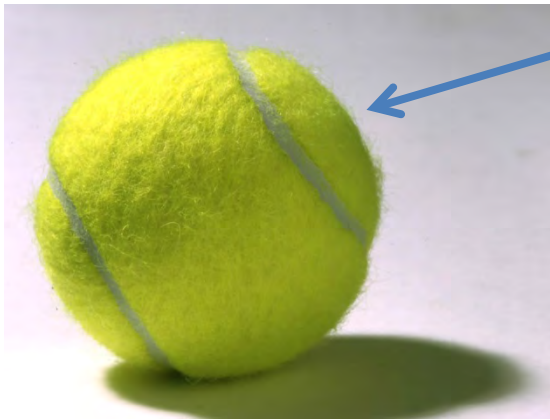
Uit: Hé Aardbewoner, Marc ter Horst



1. BAAN: AFSTAND



MODEL DISTANCES				
Scale: 1 : 21,415,400,000				
Diameter	Orbit Radius			
average	average	minimum	maximum	
cm	m	m	m	
Sun	6.500			
Mercury	0.02278	2.704	2.148	3.260
Venus	0.05650	5.052	5.020	5.085
Earth	0.05949	6.986	6.869	7.102
Mars	0.03165	10.64	9.652	11.64
Ceres - Asteroid Belt	0.004436	19.32	17.79	20.86
Jupiter	0.6528	36.36	34.58	38.13
Saturn	0.5440	66.91	63.23	70.65
Uranus	0.2368	134.3	128.4	140.3
Neptune	0.2300	210.3	207.9	212.7
Pluto - Kuiper Belt	0.01075	274.3	207.2	341.4



1. MASSA

Massa: te bepalen door
uitgeoefende zwaartekracht op
andere planeten (=variaties in baan
om zon)

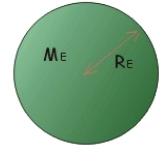
Massa/volume = gemiddelde
dichtheid = indirecte aanwijzing over
(chemische) samenstelling!

Straal (r) Aarde = $6370 \times 10^3 \text{ m}$

Massa = $5,9742 \times 10^{24} \text{ kg}$

(bepaald door zwaartekrachtveld Aarde)

$$\text{density} = \frac{\text{mass}}{\text{volume}}$$



$$\text{volume of a sphere} = \frac{4}{3} \pi r^3$$

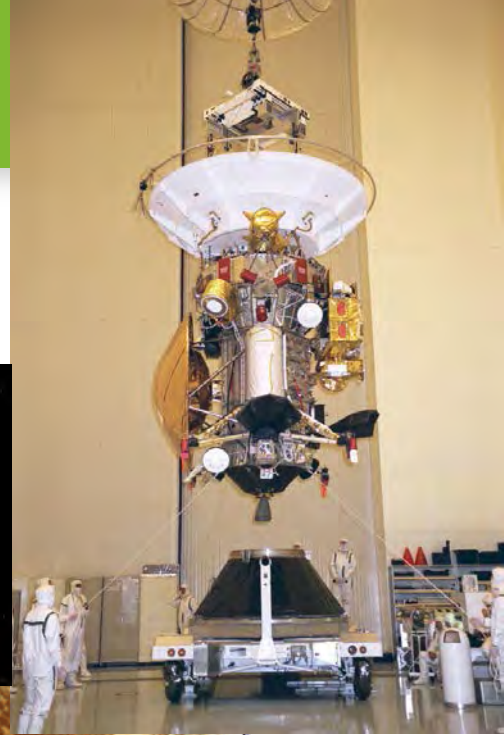
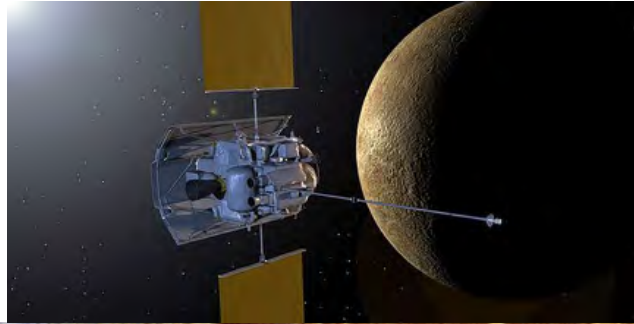
Volume Aarde = $1,083 \times 10^{21} \text{ m}^3$

Dichtheid = $5,9742 \times 10^{24} \text{ kg} / 1,083 \times 10^{21} \text{ m}^3$
= 5518 kg/m^3

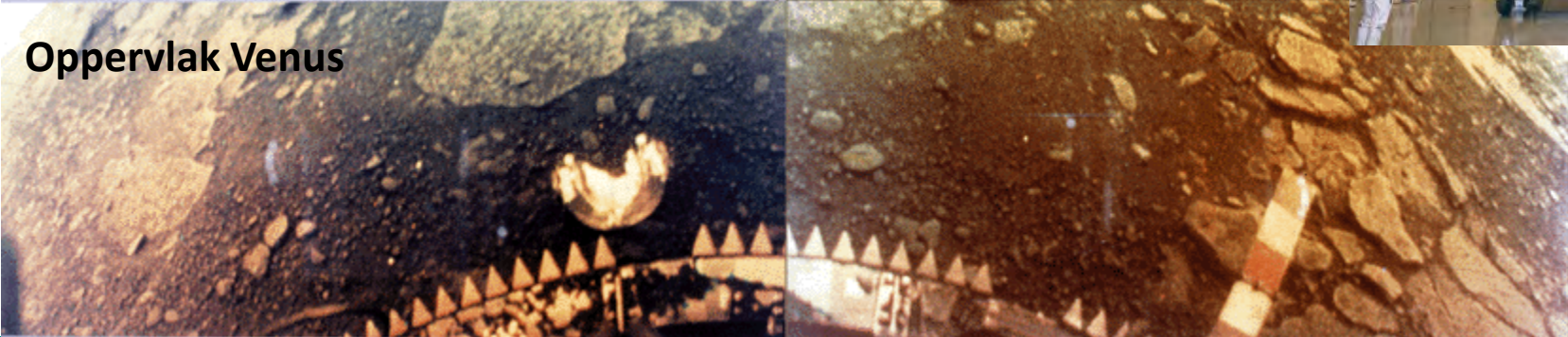
(planeet met hoogste dichtheid!)

2. INDIRECTE CHEMISCHE METINGEN

Vroege space-probes en
huidige satellieten rond
planeten
(oa. zwaartekrachtmetingen)



Oppervlak Venus

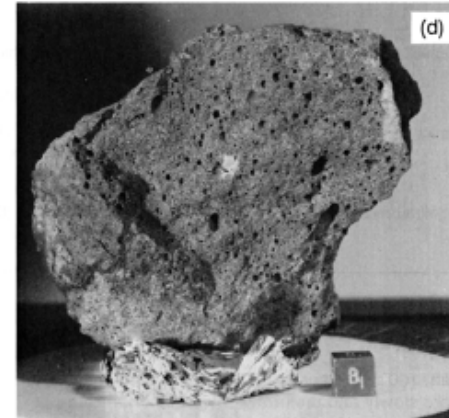
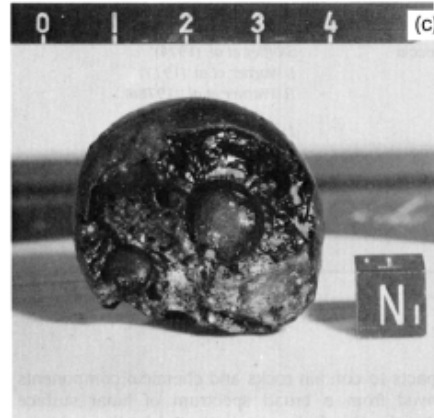
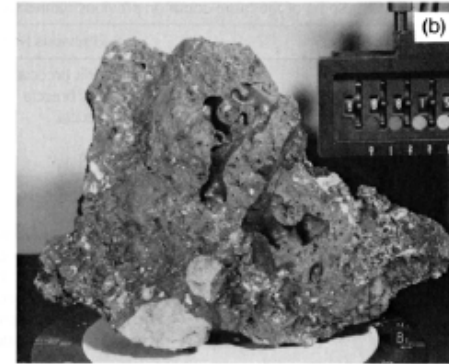
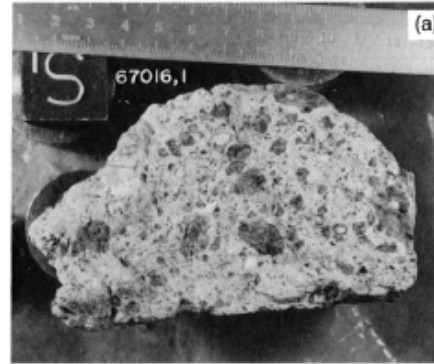


3. DIRECTE GEOCHEMISCHE METINGEN

Uiteraard op Aarde en maan:
maanstenen Apollo missies!

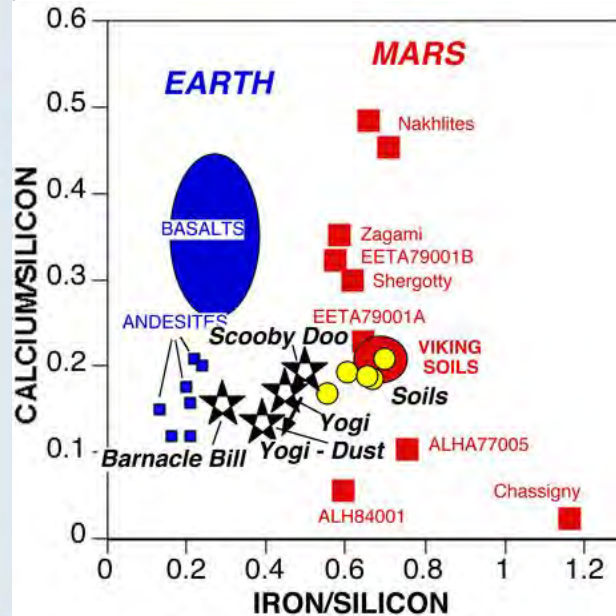
	High-Ti				Low-Ti				
	Apollo 11 High-K 10049	Apollo 11 Low-K 10003	Apollo 17 70215	Apollo 17 Orange Gl. 74220	Apollo 12 Pigeonite 12064	Apollo 12 Olivine 12002	Apollo 12 Ilmenite 12051	Apollo 15 Pigeonite 15597	Apollo 15 Olivine 15545
SiO ₂	41.0	39.8	37.8	38.6	46.3	43.6	45.3	48.0	45.2
TiO ₂	11.3	10.5	13.0	8.8	4.0	2.6	4.7	1.8	2.4
Al ₂ O ₃	9.5	10.4	8.8	6.3	10.7	7.9	10.0	9.4	8.6
Cr ₂ O ₃	0.32	0.25	0.41	0.75	0.37	0.96	0.31	0.48	0.68
FeO	18.7	19.8	19.7	22.0	19.9	21.7	20.2	20.2	22.1
MnO	0.25	0.30	0.27	—	0.27	0.28	0.28	0.30	0.30
MgO	7.03	6.7	8.4	14.4	6.5	14.9	7.0	8.7	10.3
CaO	11.0	11.1	10.7	7.7	11.8	8.3	11.4	10.4	9.8
Na ₂ O	0.51	0.40	0.36	0.36	0.28	0.23	0.29	0.32	0.31
K ₂ O	0.36	0.06	0.05	0.09	0.07	0.05	0.06	0.06	0.04
Total	99.97	99.31	99.49	99.00	100.19	100.52	99.54	99.66	99.73

Maan: Vulkanisch met weinig
silicium: basaltisch

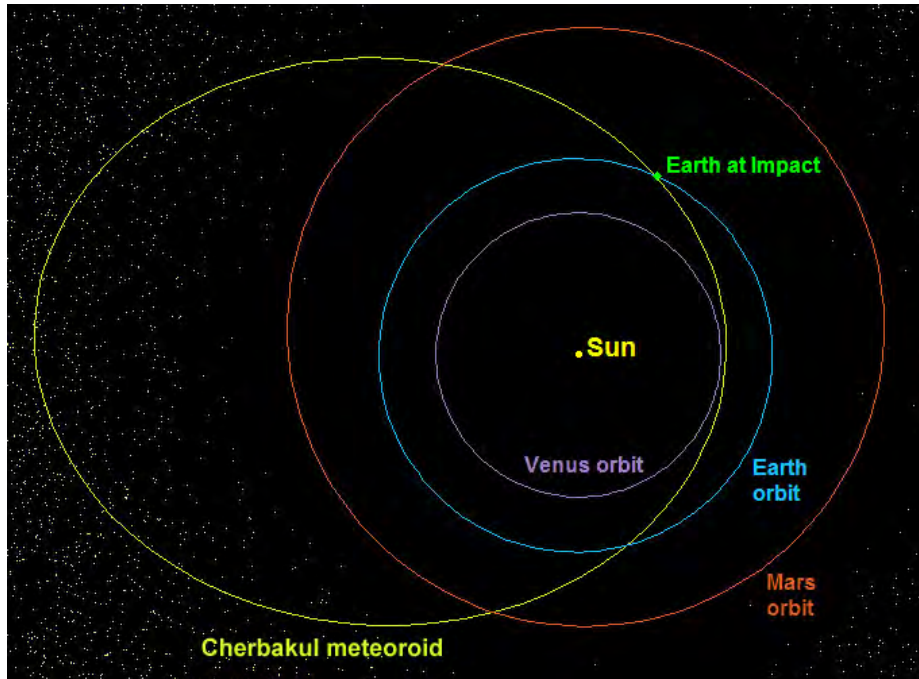


3. DIRECTE GEOCHEMISCHE METINGEN

Uiteraard op Aarde en maan,
nu ook op Mars!



4. METEORIETEN!



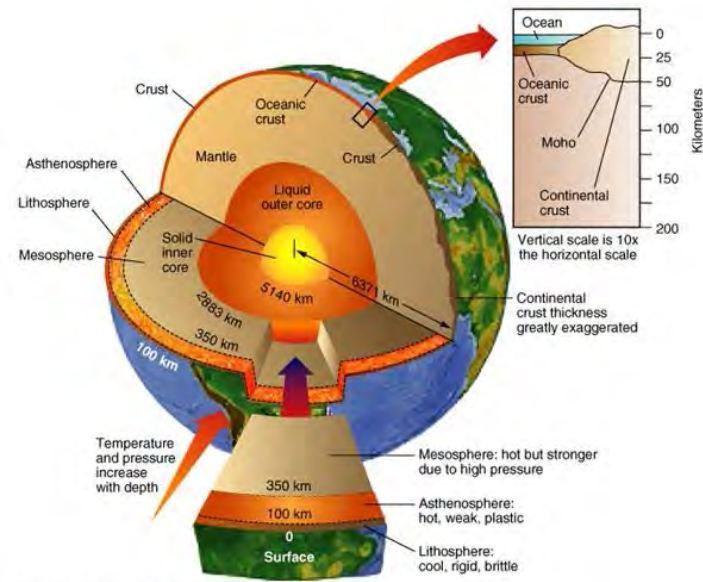
4. METEORIETEN?

Gelaagde aarde = niet
gemiddelde! Meteorieten wel
oorspronkelijke mix elementen



Chondriet: allereerste vaste gesteente zonnestelsel

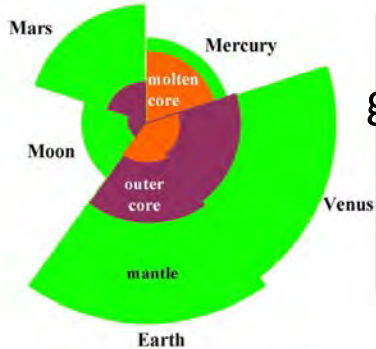
Dominant:
Zuurstof, Silicium,
Magnesium & IJzer
Water aanwezig!



TWEEDELING OP BASIS VAN SAMENSTELLING

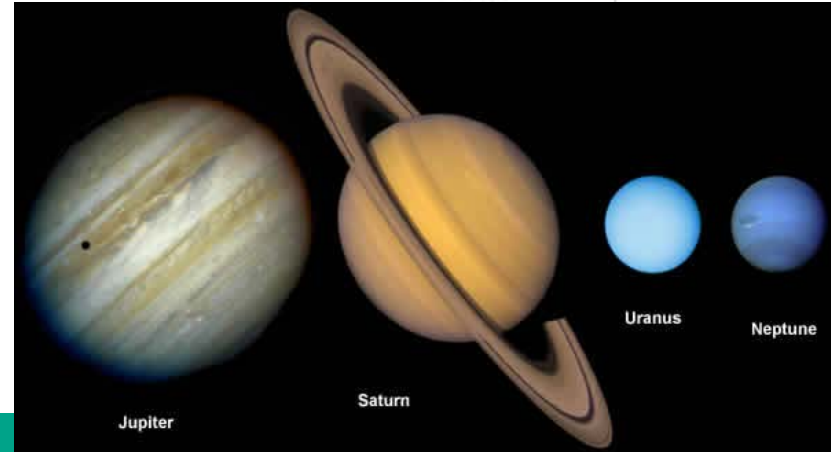
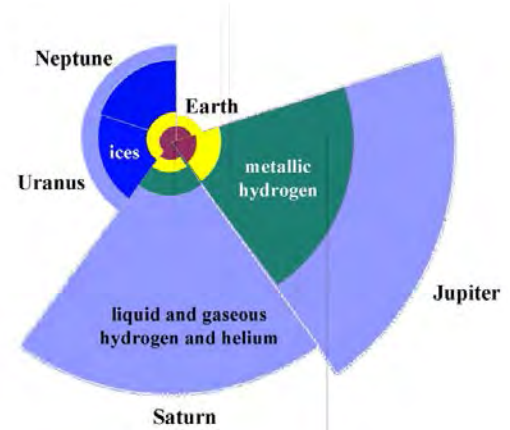
Terrestrial

‘stenig’. Klein, lage massa, hoge dichtheid, bestaat uit gesteente en metalen, heeft vast oppervlak



Jovian (“Jupiterian”)

Groot, grote massa, lage dichtheid, H en He (vloeibaar/vast)
Zeer beperkt vast oppervlak



VOORWAARDE VOOR LEVEN? SAMENSTELLING?!

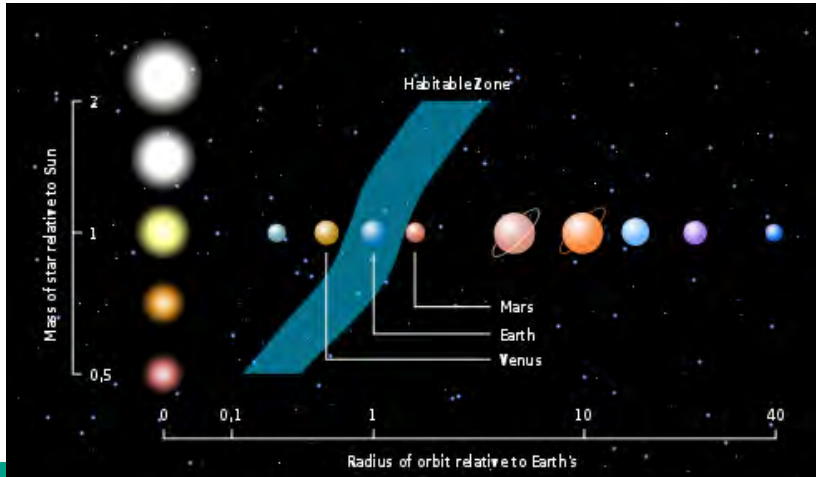
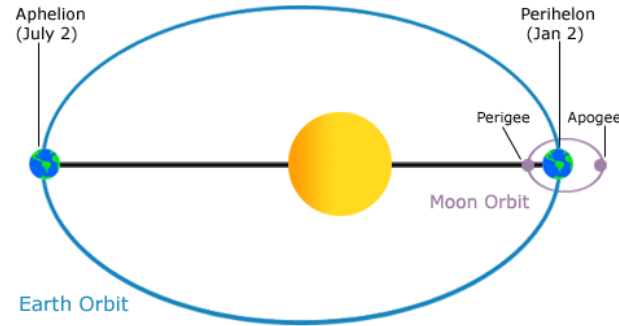
Dus, samenstelling lijkt
voorwaarde: terrestriël en
niet te groot (want gasreus)

Maar wat nog meer?

- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

BAAN VAN PLANEET

- Om ster die stabiel is in energie
- (bijna) ronde baan
- Niet te dichtbij, niet te ver weg
(afhankelijk van sterkte ster)



Goudlokje-zone, of
'Habitable Zone'

- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

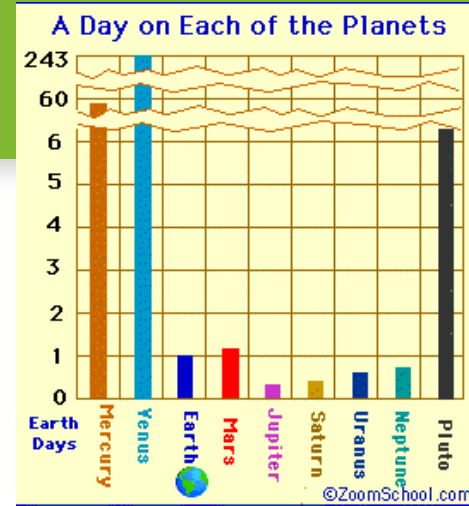
ROTATIE

Roteert relatief snel:

- dag-nacht niet te lang

(Venus-dag = 243 aardse dagen)

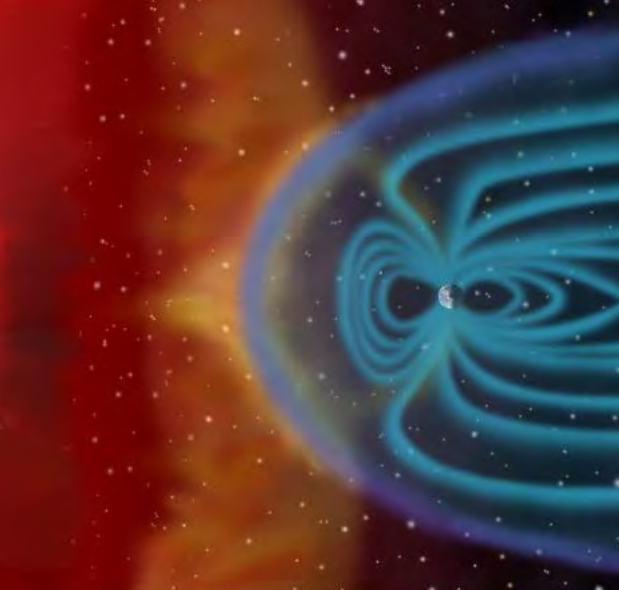
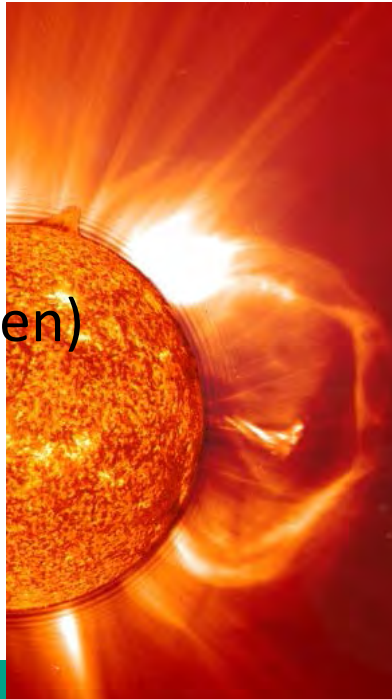
- Gesmolten ijzeren kern in beweging



- Voorwaarde?
- Samenstelling
 - Massa
 - Baan van planeet
 - Rotatie
 - Magnetisch veld
 - Buren
 - Vloeibaar water
 - Temperatuur
 - Gelaagde planeet
 - Plaattektoniek
 - Tijd
 - Atmosfeer
 - Vrije zuurstof
 - Broeikaswereld
 - Leven zelf?!

MAGNETISCH VELD

- Gesmolten ijzeren kern nodig om een magnetisch veld te kunnen creëren
- Beschermst tegen zonne-energie (cosmogene nucleiden)



- Voorwaarde?
- Samenstelling
 - Massa
 - Baan van planeet
 - Rotatie
 - Magnetisch veld
 - Buren
 - Vloeibaar water
 - Temperatuur
 - Gelaagde planeet
 - Plaattektoniek
 - Tijd
 - Atmosfeer
 - Vrije zuurstof
 - Broeikaswereld
 - Leven zelf?!

SEGREGATIE

Ooit volledig gesmolten

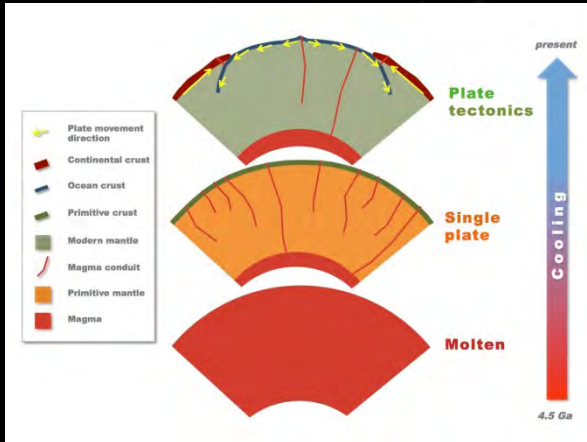
Zware elementen: kern

Lichtere: continent

Lichtste: atmosfeer



- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!



SEGREGATIE

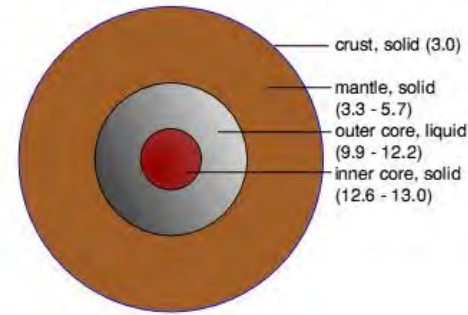
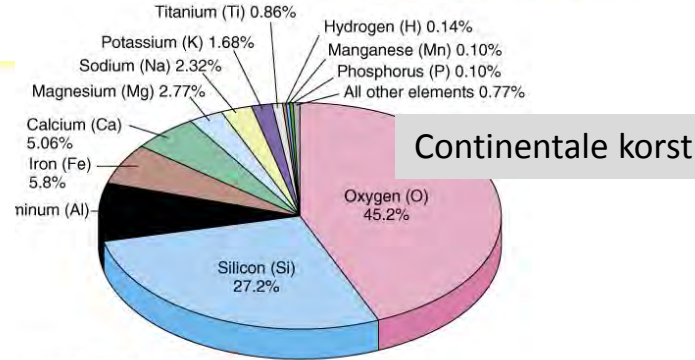


Table 2.5a Composition of bulk Earth, mantle and core

Element (wt%)	Earth	Mantle	Core
Fe	32.0	6.26	85.5
O	29.7	44	0
Si	16.1	21	6
Mg	15.4	22.8	0
Ni	1.82	0.20	5.2
Ca	1.71	2.53	0
Al	1.59	2.35	0
S	0.64	0.03	1.9
Cr	0.47	0.26	0.9
Na	0.18	0.27	0
P	0.07	0.009	0.20
Mn	0.08	0.10	0.03
C	0.07	0.01	0.20
H	0.03	0.01	0.06
Total	99.86	99.83	99.99

Note: The compositions are based on a model in which the Fe/Ni in the Earth is the same as in chondritic meteorites. Composition of the core is an active area of research – some workers suggest the presence of a small amount of oxygen.

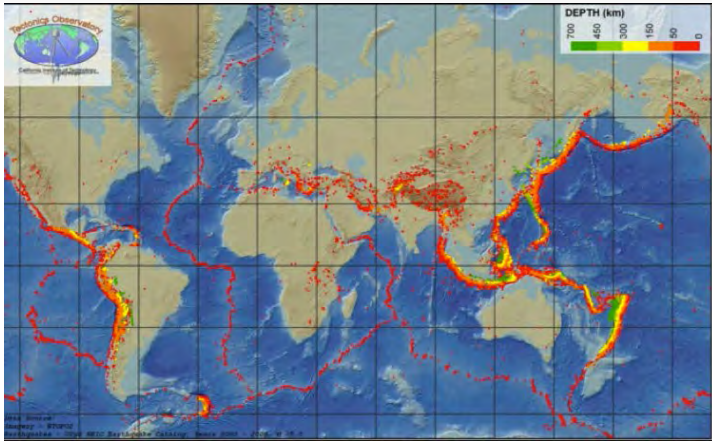
Source: McDonough, W. F. (2004). Compositional model for the Earth's core. In *The Mantle and Core*, ed. R. W. Carlson, vol. 2, *Treatise on Geochemistry*, ed. H. D. Holland and K. K. Turekian. Oxford: Elsevier-Pergamon.



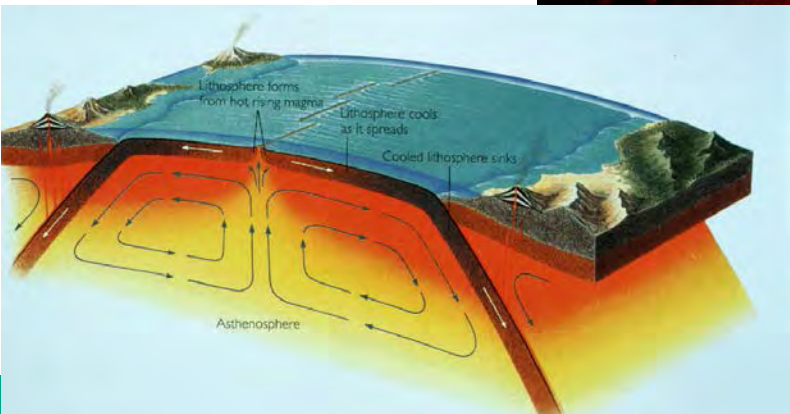
Periodic Table of the Elements

1																	2							
1	H																	He						
2	Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Ha	106	107	108	109	110														

PLAATTEKTONIEK



Korst van de aarde in beweging



- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!



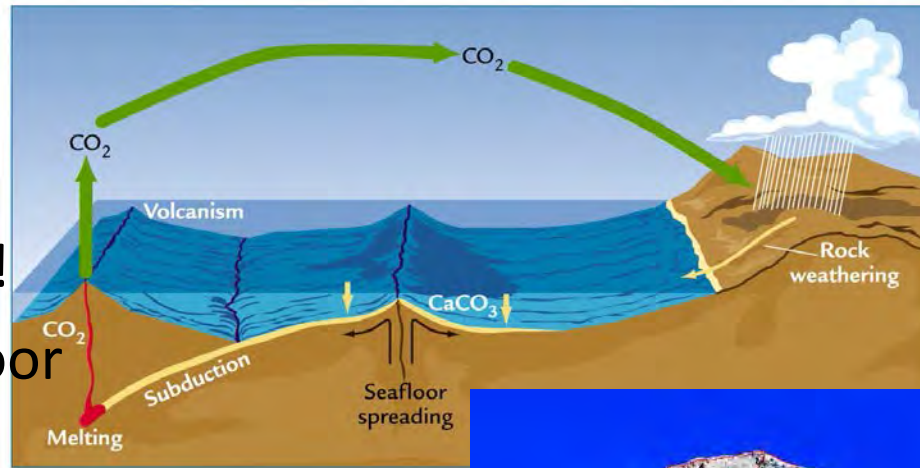
PLAATTEKTONIEK

-Recycling elementen!

Bijv. koolstof, nodig voor leven

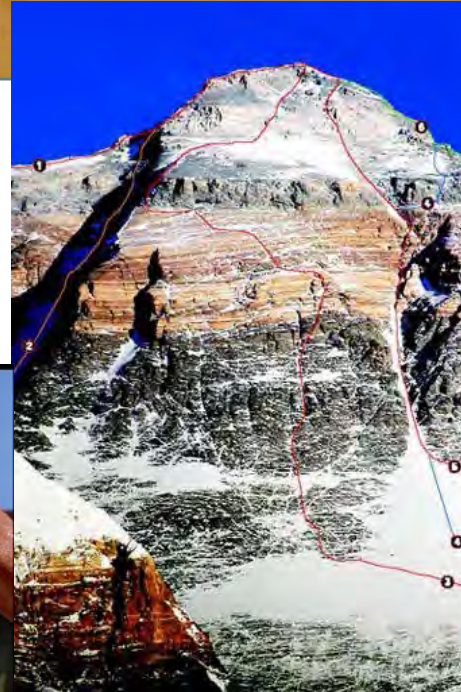
-Droog land

Niet voor leven in algemeen,
maar voor mens prettig



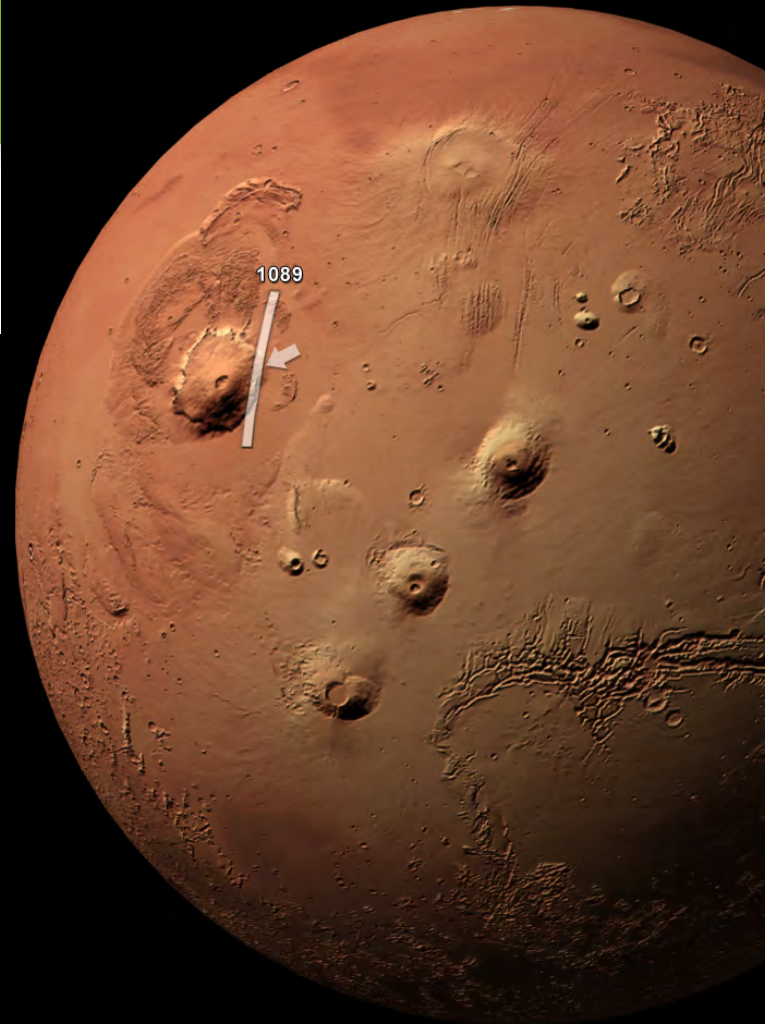
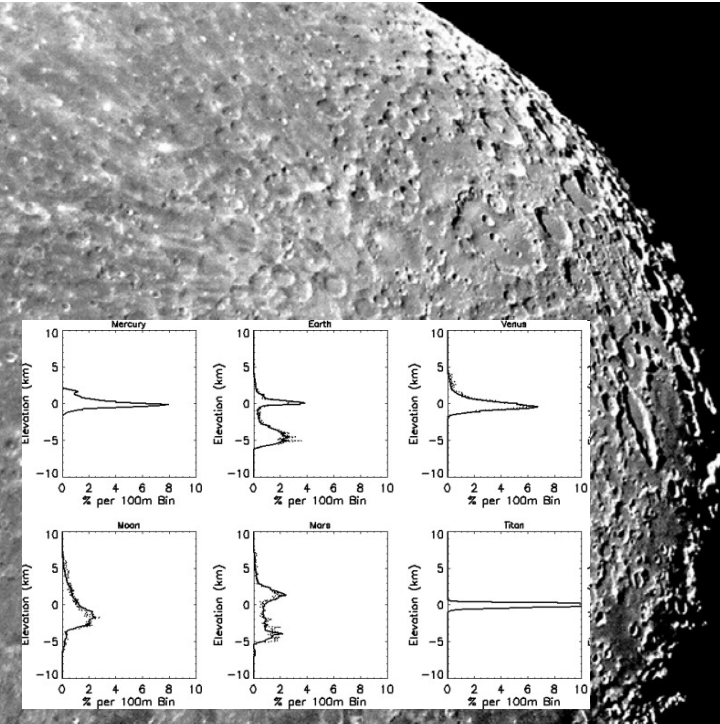
Voorwaarde?

- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

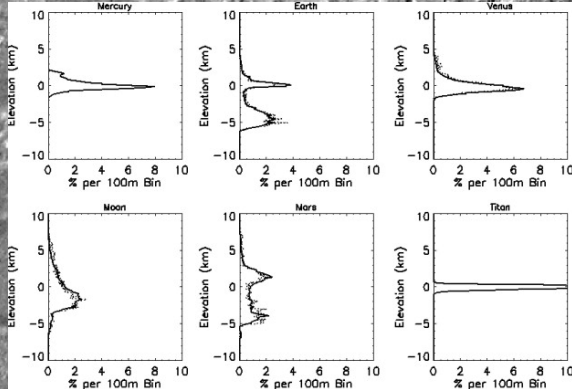


GEOLOGISCH DOOD?!

Korst Maan en Mars duidelijk
niet veel beweging (meer?)



- Voorwaarde?
- Samenstelling
 - Massa
 - Baan van planeet
 - Rotatie
 - Magnetisch veld
 - Buren
 - Vloeibaar water
 - Temperatuur
 - Gelaagde planeet
 - Plaattektoniek
 - Tijd
 - Atmosfeer
 - Vrije zuurstof
 - Broeikaswereld
 - Leven zelf?!



BUURPLANETEN

- Ver genoeg van grote planeten (anders baan flink verstoord!)
- Dichtbij genoeg grote planeten die asteroïden in kunnen vangen



- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

MASSA

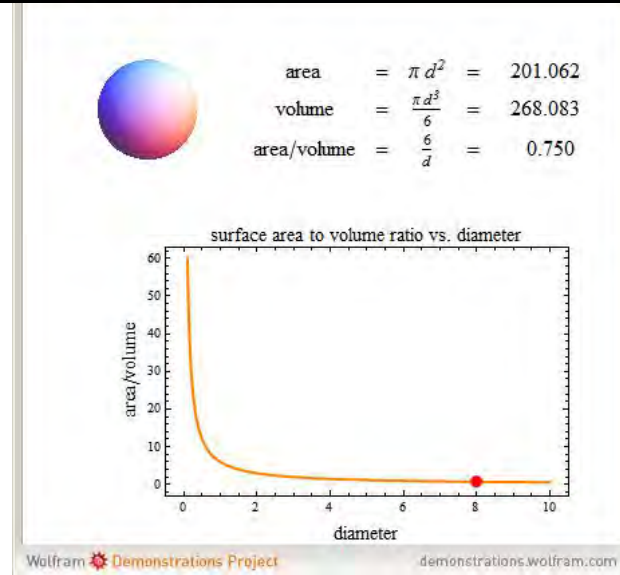
- Niet te weinig

1. Genoeg zwaartekracht om atmosfeer vast te houden
2. Hoge verhouding oppervlak/volume
= snel afkoelend
= geologisch dood

- Niet te veel: gasreus door grote zwaartekracht



- Voorwaarde?
- Samenstelling
 - Massa
 - Baan van planeet
 - Rotatie
 - Magnetisch veld
 - Buren
 - Vloeibaar water
 - Temperatuur
 - Gelaagde planeet
 - Plaattektoniek
 - Tijd
 - Atmosfeer
 - Vrije zuurstof
 - Broeikaswereld
 - Leven zelf?!



WATER

Leven op Aarde gebaseerd op vloeibaar water

- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!



WATER? HOE?

Zeer actueel:

Wellicht ook met meteorieten, maar ook al aanwezig in proto-aarde!



- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

EARLY SOLAR SYSTEM

Early accretion of water in the inner solar system from a carbonaceous chondrite-like source

Adam R. Sarafian,^{1,4} Sune G. Nielsen,¹ Horst R. Marschall,^{1,2,3} Francis M. McCubbin,⁴ Brian D. Monteleone¹

Determining the origin of water and the timing of its accretion within the inner solar system is important for understanding the dynamics of planet formation. The timing of water accretion to the inner solar system also has implications for how and when life emerged on Earth. We report in situ measurements of the hydrogen isotopic composition of the mineral apatite in eucrite meteorites, whose parent body is the main-belt asteroid 4 Vesta. These measurements sample one of the oldest hydrogen reservoirs in the solar system and show that Vesta contains the same hydrogen isotopic composition as that of carbonaceous chondrites. Taking into account the old ages of eucrite meteorites and their similarity to Earth's isotopic ratios of hydrogen, carbon, and nitrogen, we demonstrate that these volatiles could have been added early to Earth, rather than gained during a late accretion event.

Hydrogen is vitally important in cosmochemical and geochemical processes. For example, water (H₂O) plays a critical role in plate tectonics on Earth (1) and has likely shaped the surface of Mars (2). Despite the abundance of water on Earth and evidence of

water on the Moon, M. Vesta (2–4), these plan thought to have accreted two key questions: Where from? And when was it p system? The answers n about accretion processs Additionally, the extent oral water transport th the solar system are deb

The source of water in investigated by measur isotopes of hydrogen (d hydrogen, ³H) because

While the authors are not ruling out that some of the water that covers 70 percent of Earth today may have arrived later, their findings suggest that there was enough already here for life to have begun earlier than thought.

"Knowing that water came early to the inner solar system also means that the other inner planets could have been wet early and evolved life before they became the harsh environments they are today," explained Nielsen.

¹Department of Geology and Geophysics, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 02543, USA.

²Department of Earth and Planetary Sciences, American Museum of Natural History, New York, NY 10024, USA.

³School of Earth Sciences, University of Bristol, Bristol BS8 1RJ, UK. ⁴Institute of Meteoritics, University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131, USA.

*Corresponding author. E-mail: asarafian@whoi.edu

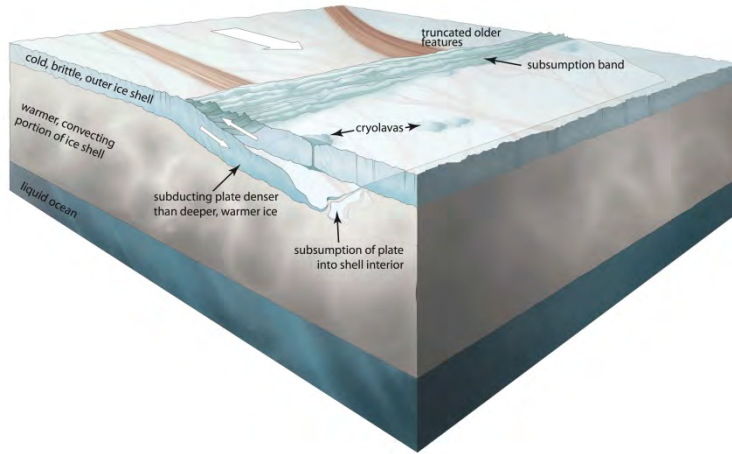
REFERENCES AND NOTES

1. F. F. Tao, M. Salmeron, *Science* **331**, 171–174 (2011).
2. S. Zlotoborski et al., *J. Geol.* **208**, 309–317 (2000).
3. D. E. Starr, H. Blum, Z. Liu, A. Knop-Greif, M. Heise, in *In-situ Characterization of Heterogeneous Catalysts*.

WATER: ELDERS?



Op Mars: in gesteente
ingebouwd



Europa (maan Jupiter):
onder dikke ijslaag (met
ijstektoniek!)

- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

TEMPERATUUR

Vloeibaar water?

Genoeg energie:
temperatuur tussen 0 en 100
graden Celsius

Anders.. ijs of
waterdamp...



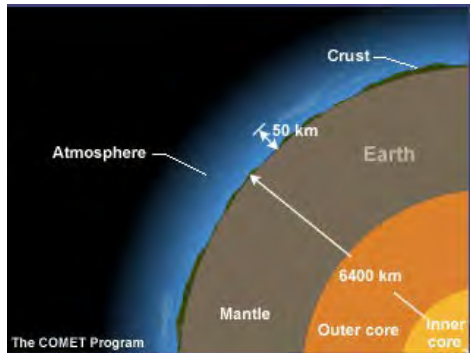
Voorwaarde?

- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

ATMOSFEER

Planeet met genoeg
zwaartekracht kan gas bij
zich houden.

Aarde: dunne laag
met klein volume!



Water op aarde

Atmosfeer



- Voorwaarde?
- Samenstelling
 - Massa
 - Baan van planeet
 - Rotatie
 - Magnetisch veld
 - Buren
 - Vloeibaar water
 - Temperatuur
 - Gelaagde planeet
 - Plaattektoniek
 - Tijd
 - Atmosfeer
 - Vrije zuurstof
 - Broeikaswereld
 - Leven zelf?!

ATMOSFEER: SAMENSTELLING

Waarom zo verschillend?

Planet				
T_p , K (°C)	437 (163)	232 (-41)	255 (-18)	209 (-64)
T_{obs} , K (°C)	~440 (167)	735 (462)	288 (15)	215 (-58)
Atmosphere: Pressure, kPa composition	none	9300 CO ₂ (0.965), N ₂ (0.035),	101 N ₂ (0.78), O ₂ (0.21), Ar(0.009),	0.64 CO ₂ (0.95), N ₂ (0.03), Ar(0.02),
[trace gases]		[SO ₂ , Ar]	[CO ₂ , H ₂ O]	[O ₂ , CO]

Venus: lijkt op Aarde, alleen geen
mechanisme om C te binden (leven!!)
dus: 'runaway greenhouse effect'

Mercurius:
te dicht bij de zon:
zonnewind blaast
atmosfeer weg



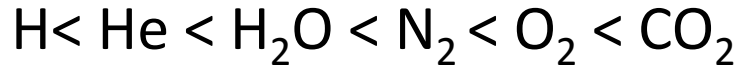
- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

ATMOSFEER: SAMENSTELLING ANDERS

Grotere planeet = grotere zwaartekracht:

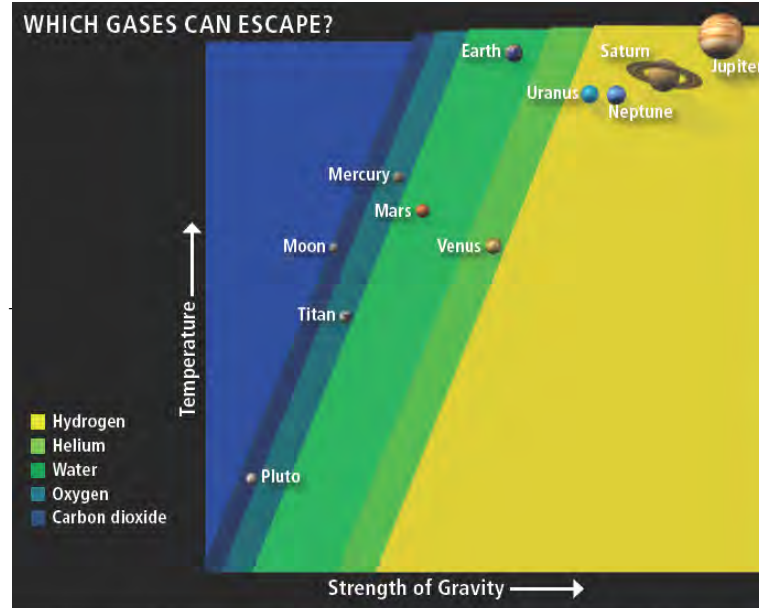
Minder gas kan ontsnappen en lichter gas blijft in atmosfeer

Gewicht:



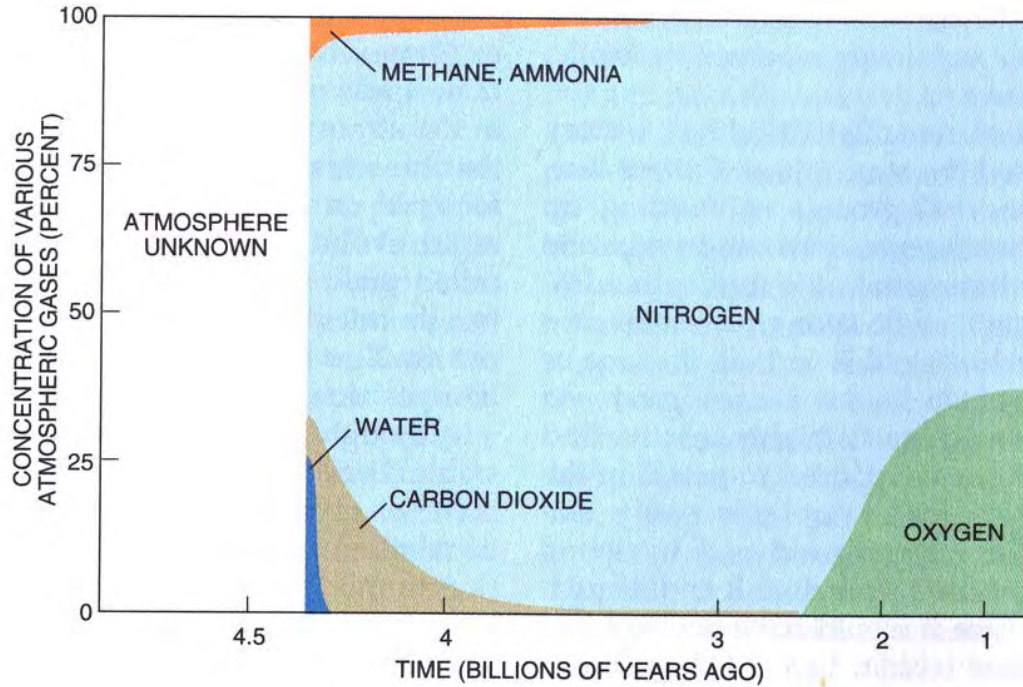
Periodic Table of the Elements

1 H																	18 Ar	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr																													
3 Li	4 Be																	18 Ar	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe																												
5 Na	6 Mg	7 Al	8 Si	9 P	10 S	11 Cl	12 Ar	13 K	14 Ca	15 Sc	16 Ti	17 V	18 Cr	19 Mn	20 Fe	21 Co	22 Ni	23 Cu	24 Zn	25 Ga	26 Ge	27 As	28 Se	29 Br	30 Kr	31 Rb	32 Sr	33 Y	34 Zr	35 Nb	36 Mo	37 Tc	38 Ru	39 Rh	40 Pd	41 Ag	42 Cd	43 In	44 Sn	45 Sb	46 Te	47 I	48 Xe																					
6 Cs	7 Ba	8 La	9 Hf	10 Ta	11 W	12 Re	13 Os	14 Ir	15 Pt	16 Au	17 Hg	18 Tl	19 Pb	20 Bi	21 Po	22 At	23 Rn	24 Fr	25 Ra	26 Ac	27 Th	28 Pa	29 U	30 Np	31 Pu	32 Am	33 Cm	34 Bk	35 Cf	36 Es	37 Fm	38 Md	39 No	40 Lr	41 La	42 Ce	43 Pr	44 Nd	45 Pm	46 Sm	47 Eu	48 Gd	49 Tb	50 Dy	51 Ho	52 Er	53 Tm	54 Yb	55 Lu	56 Hf	57 Ta	58 W	59 Re	60 Os	61 Ir	62 Pt	63 Au	64 Hg	65 Tl	66 Pb	67 Bi	68 Po	69 At	70 Rn
7 Fr	8 Ra	9 Ac	10 Th	11 Pa	12 U	13 Np	14 Pu	15 Am	16 Cm	17 Bk	18 Cf	19 Es	20 Fm	21 Md	22 No	23 Lr	24 La	25 Ce	26 Pr	27 Nd	28 Pm	29 Sm	30 Eu	31 Gd	32 Tb	33 Dy	34 Ho	35 Er	36 Tm	37 Yb	38 Lu	39 Hf	40 Ta	41 W	42 Re	43 Os	44 Ir	45 Pt	46 Au	47 Hg	48 Tl	49 Pb	50 Bi	51 Po	52 At	53 Rn																		



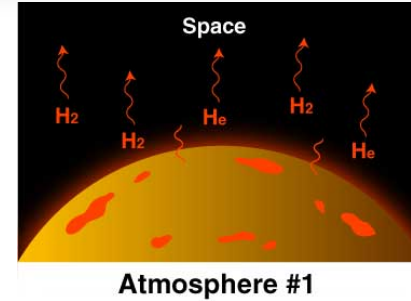
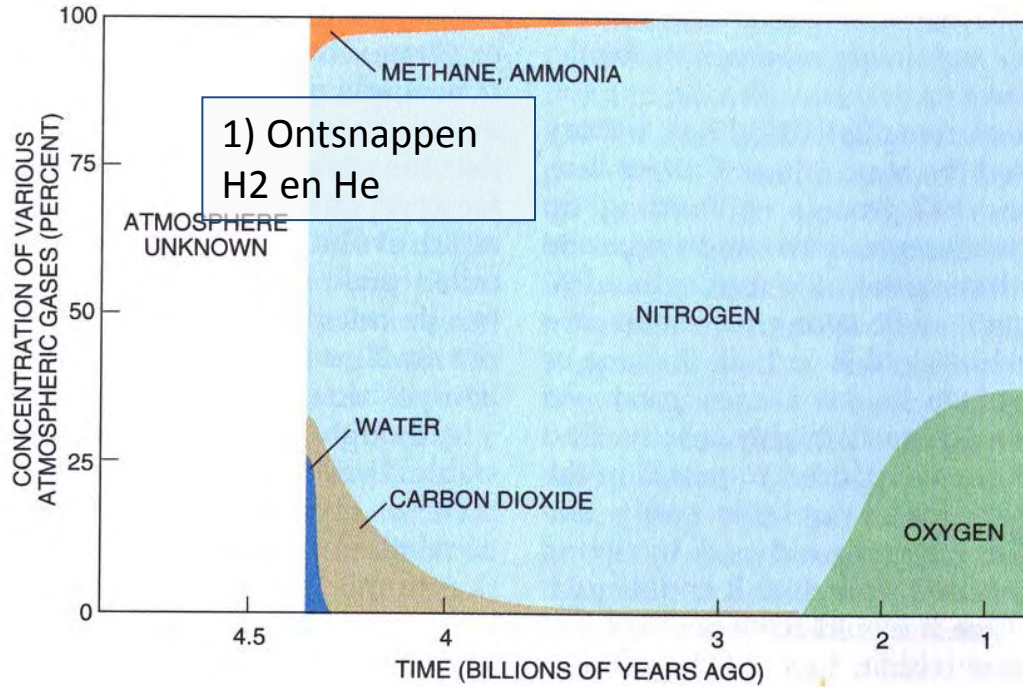
- Voorwaarde?
- Samenstelling
 - Massa
 - Baan van planeet
 - Rotatie
 - Magnetisch veld
 - Buren
 - Vloeibaar water
 - Temperatuur
 - Gelaagde planeet
 - Plaattektoniek
 - Tijd
 - Atmosfeer
 - Vrije zuurstof
 - Broeikaswereld
 - Leven zelf?!

ATMOSFEER AARDE: ONTWIKKELING



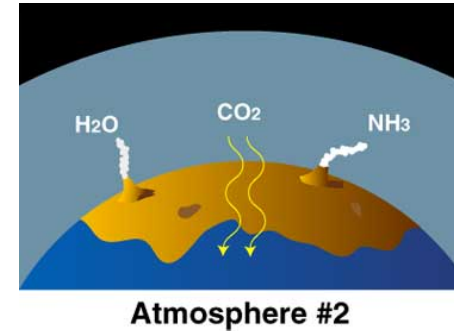
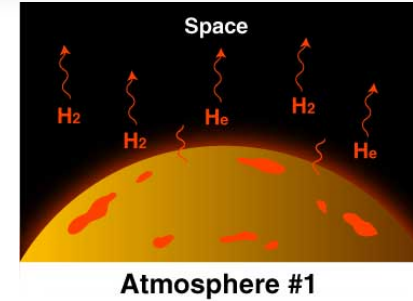
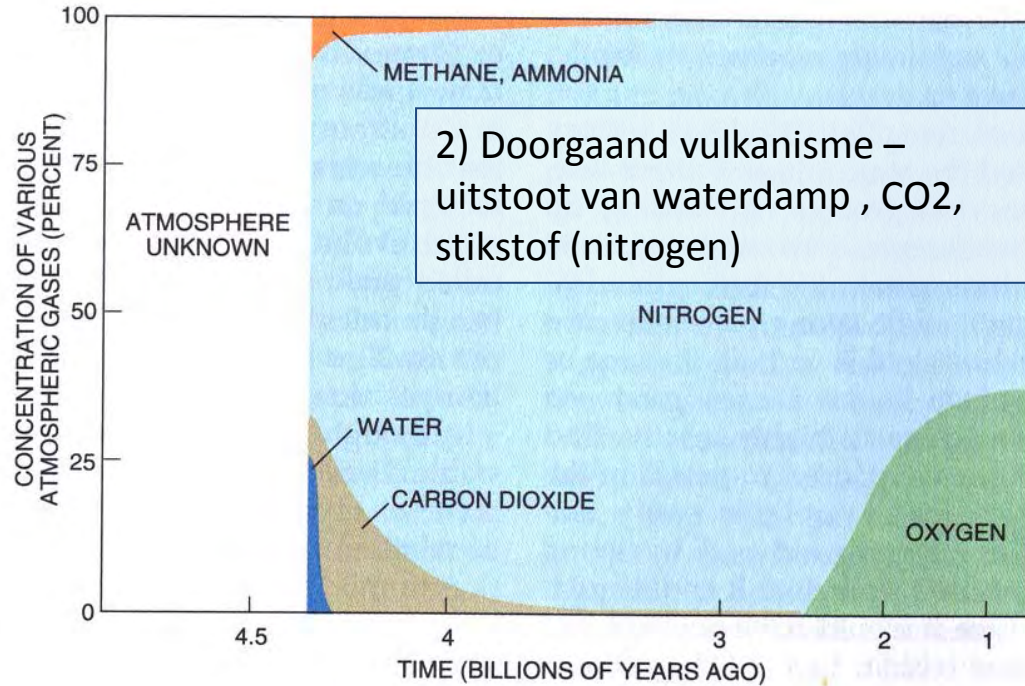
- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

ATMOSFEER AARDE: ONTWIKKELING



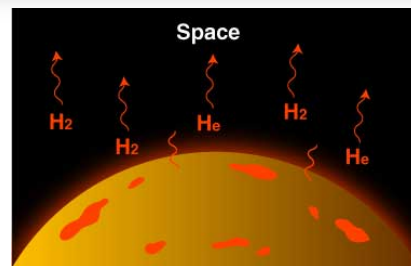
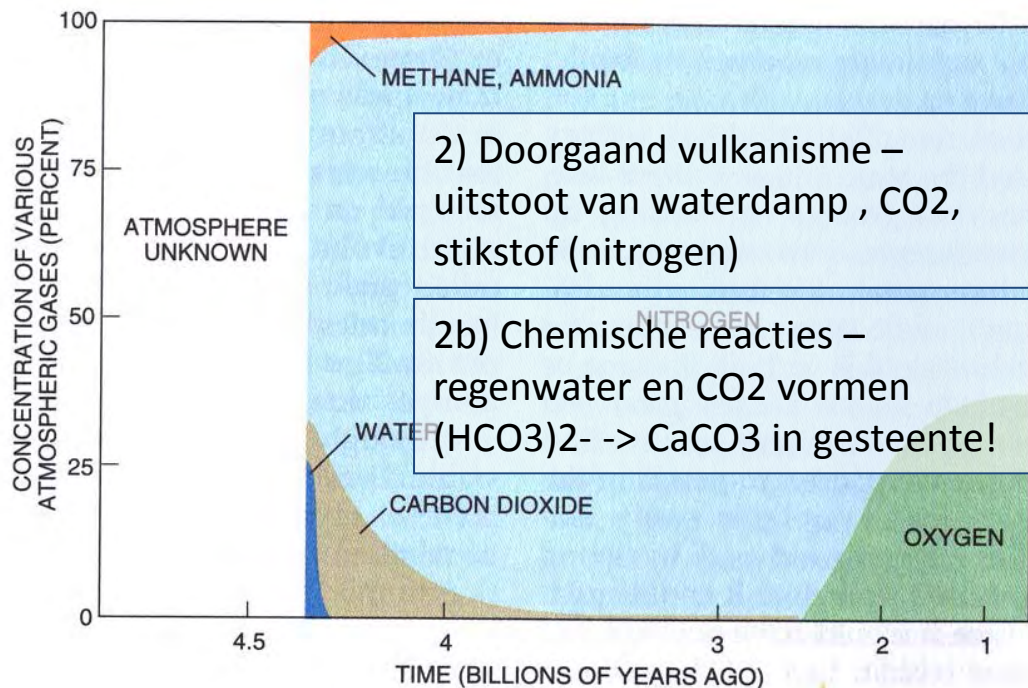
- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

ATMOSFEER AARDE: ONTWIKKELING

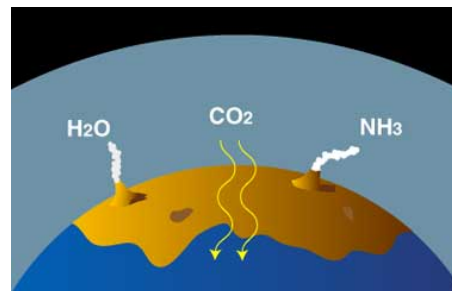


- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

ATMOSFEER AARDE: ONTWIKKELING



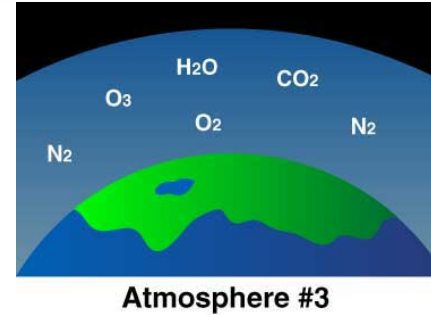
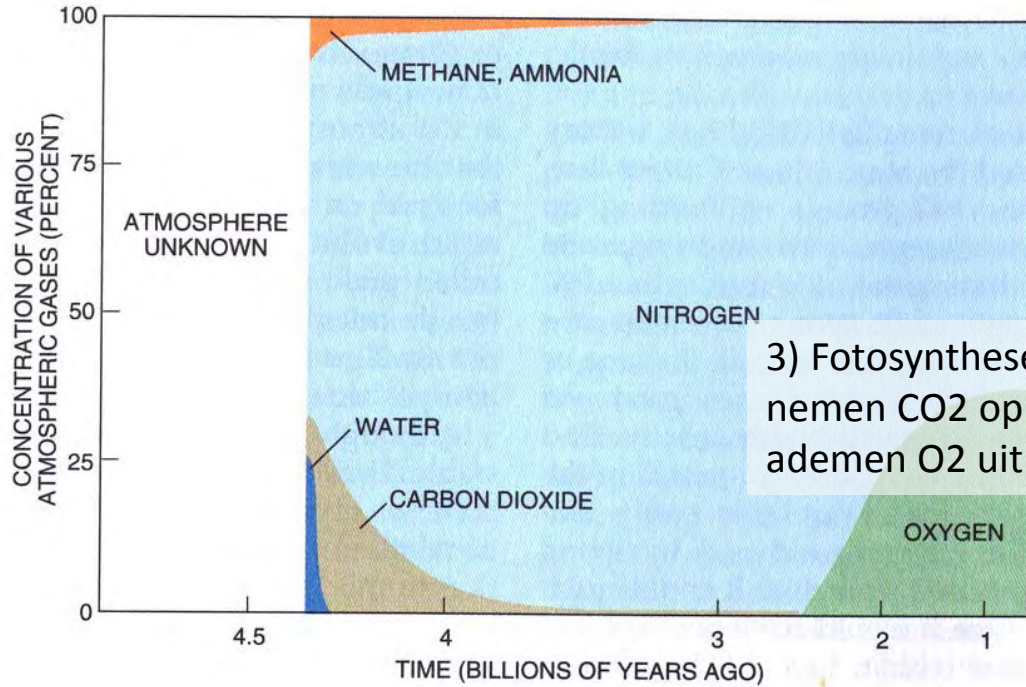
Atmosphere #1



Atmosphere #2

- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

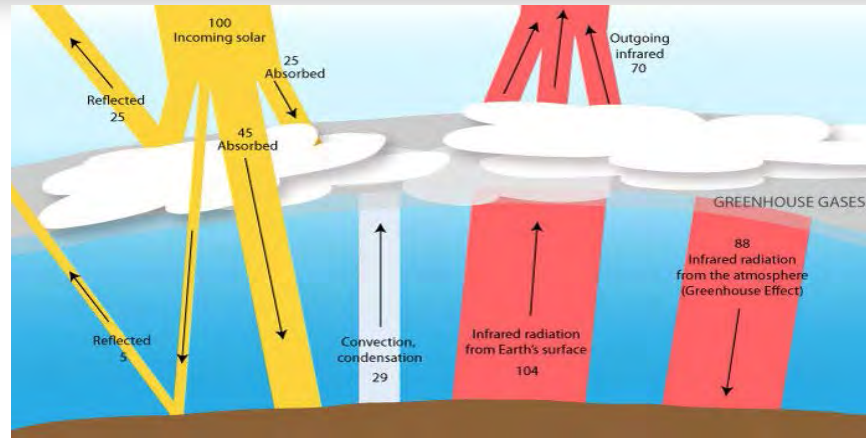
ATMOSFEER AARDE: ONTWIKKELING



- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

BROEIKASWERELD

Dankzij broeikasgassen
gemiddelde op aarde:
~15 graden ipv -8



Planet	Atmospheric Pressure	Chemical Composition of Atmosphere (%)			
		N ₂	O ₂	H ₂ O	CO ₂
Venus	92 atm	<2	<0.001	0.0001-0.3	>98
Earth	1 atm	78	21	0.0001-4	0.035
Mars	0.006 atm	2.5	<0.25	<0.001	>96

- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

.... EEN BEETJE DAN...

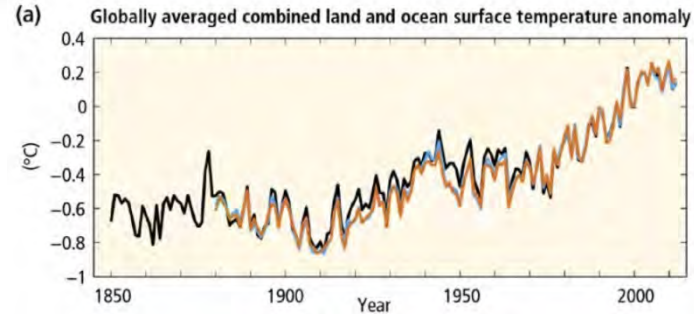
IPCC 2014:

1. Observed Changes and their Causes

Human influence on the climate system is clear, and recent anthropogenic emissions of greenhouse gases are the highest in history. Recent climate changes have had widespread impacts on human and natural systems. {1}

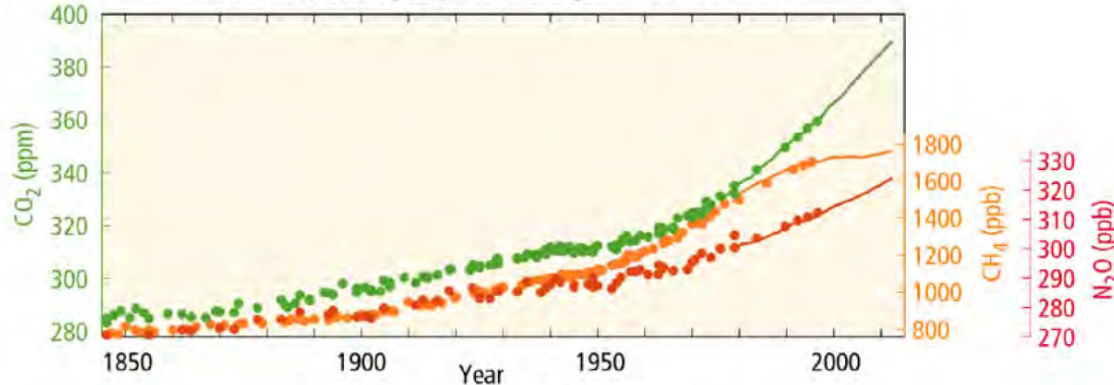
1.1 Observed changes in the climate system

Warming of the climate system is unequivocal, and since the 1950s, many of the observed changes are unprecedented over decades to millennia. The atmosphere and ocean have warmed, the amounts of snow and ice have diminished, and sea level has risen. {1.1}



- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

(c) Globally averaged greenhouse gas concentrations



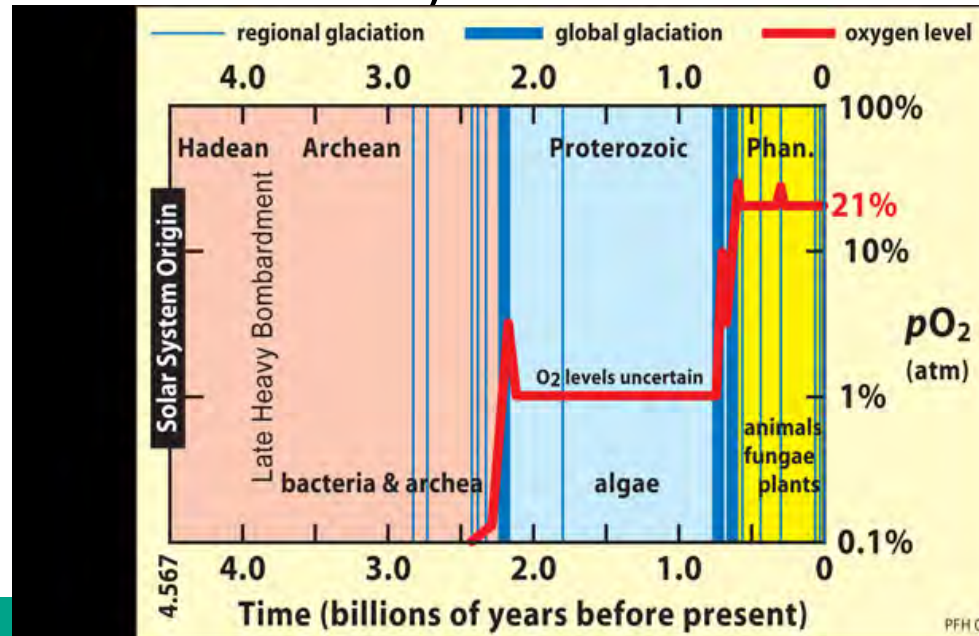
VRIJE ZUURSTOF?

Nodig om stap te maken van eencelligen (bacteria) naar complexe levensvormen (transport van energie naar cellen met gespecialiseerde functies)

Hoe ontstond dat?

-Door leven zelf

-H -> heelal



- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

VRIJE ZUURSTOF II

H ontsnapt?

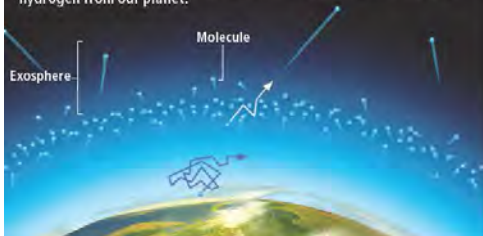
Lichtste element: Aarde kan niet alles vasthouden..

PLANETARY TEAKETTLE

One major cause of air loss is solar heating. Heat can drive out air in one of two ways.

AIR EVAPORATES MOLECULE BY MOLECULE

In an atmosphere's uppermost layer, or exosphere, nothing stops the fastest-moving atoms and molecules from flying off into space. This process, known as Jeans escape, accounts for much of the leakage of hydrogen from our planet.



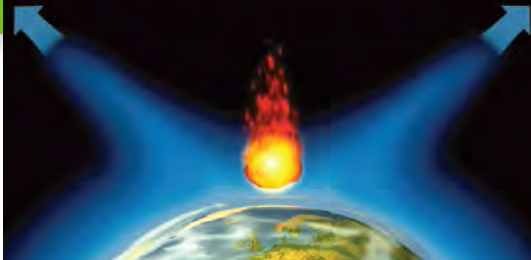
HEATED AIR FLOWS OUT IN A WIND

Air heated by sunlight rises, accelerates and attains escape velocity. This process, known as hydrodynamic escape, was particularly important on early Earth and Venus—in fact, it may be why Venus became what it is today.



AIR BLAST

When a comet or asteroid strikes a planet, it creates an enormous explosion that throws rock, water, dinosaurs and air into space.



LOSS OF CERTAIN GASES, especially hydrogen, has transformed Earth. It is one of the reasons that oxygen built up in the atmosphere. In the future, the depletion of hydrogen will dry out our oceans and all but shut down geologic cycles that stabilize the climate. Life may still be able to hold out in the polar regions.

EARTH PAST: 3 BILLION YEARS AGO



EARTH PRESENT



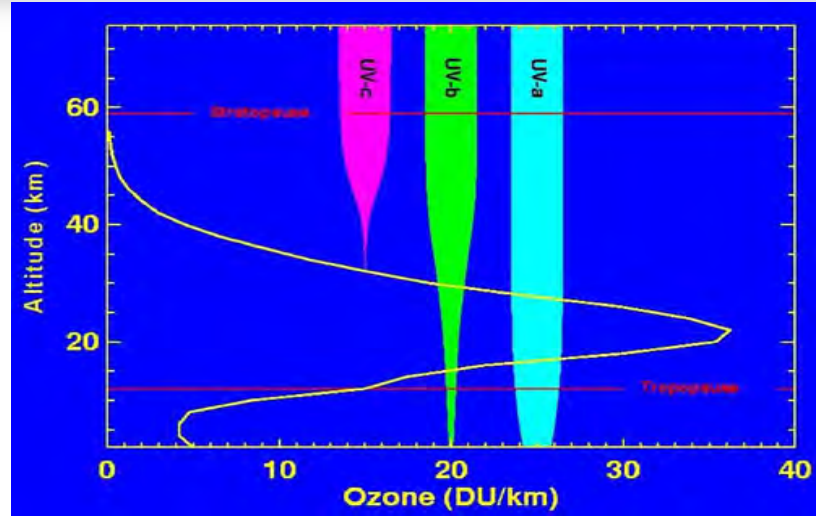
EARTH FUTURE: 3 BILLION YEARS FROM NOW

Voorwaarde?

- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

OZON

- Zuurstof (O_2)
→ Ozon (O_3)
Beschermt leven op
land tegen UV-straling



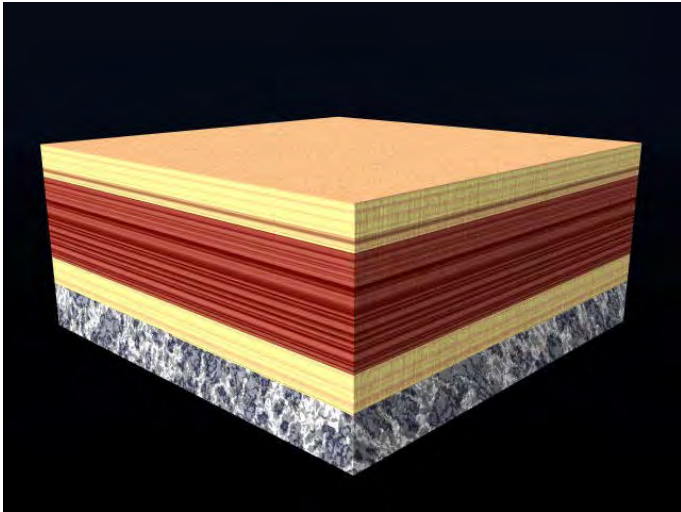
Maar... op zichzelf pas mogelijk toen voldoende zuurstof beschikbaar kwam door... leven!

- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

TIJD, VEEL TIJD

Origineel, sedimenten
horizontaal op elkaar.

Diepst? Dan oudst!



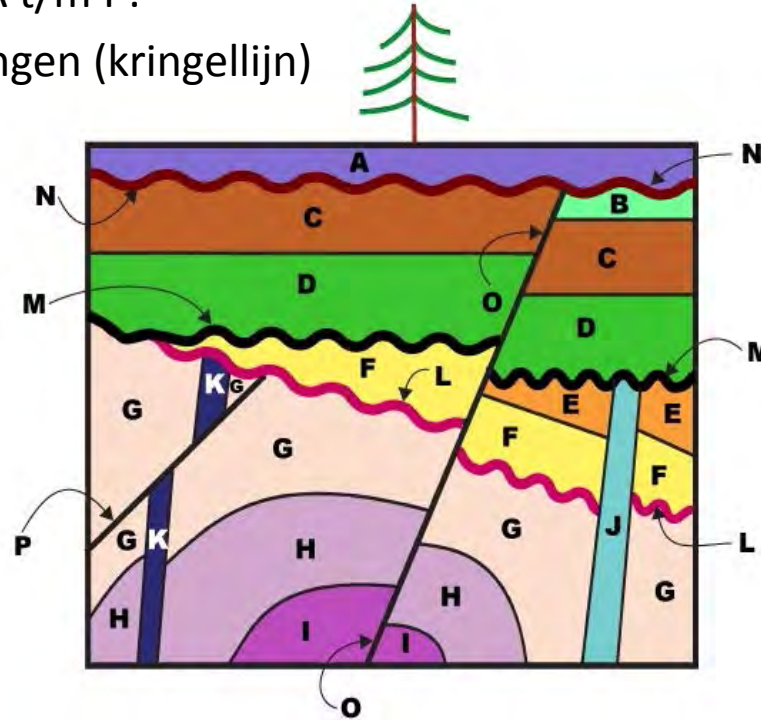
- Voorwaarde?
- Samenstelling
 - Massa
 - Baan van planeet
 - Rotatie
 - Magnetisch veld
 - Buren
 - Vloeibaar water
 - Temperatuur
 - Gelaagde planeet
 - Plaattektoniek
 - Tijd
 - Atmosfeer
 - Vrije zuurstof
 - Broeikaswereld
 - Leven zelf?!

RELATIEVE OUDERDOM II

Bepaal de onderlinge volgorde van A t/m P:
gesteentelagen, breuken en afsnijdingen (kringellijn)

Jongste:

Oudste:



- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

RELATIEVE OUDERDOM II

Vondsten van fossielen in
verschillende pakketten:

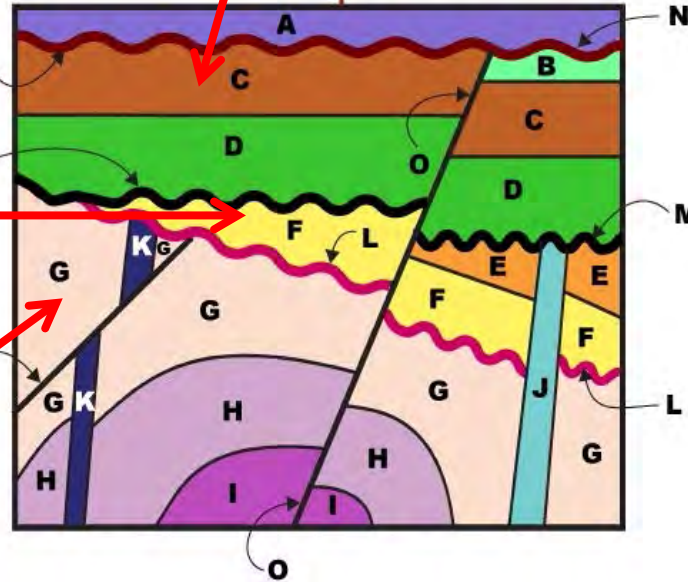
Brachiopode



Trilobiet



Zoogdier



- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

RELATIEVE OUDERDOM

Fossielen: specifieke soorten in gesteenten van bepaalde ouderdom

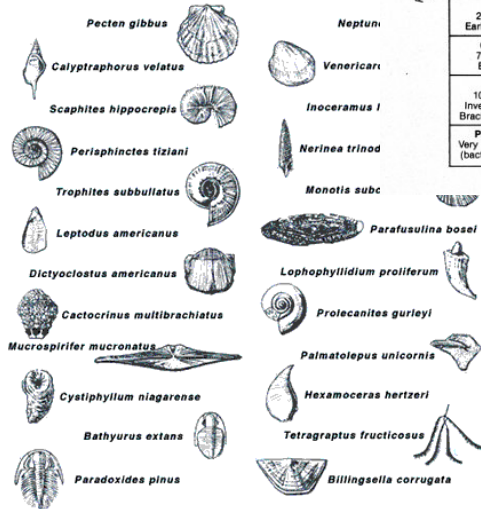
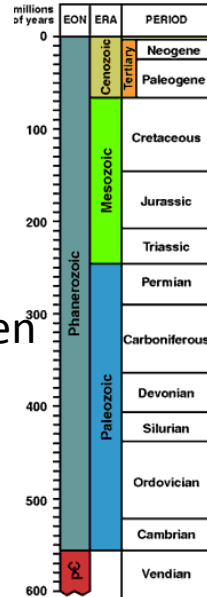
Geologische tijdschaal:

Indeling oorspr. relatief

Paleozoic = oude leven

Mesozoic = midden leven

Cenozoic = jonge leven



GEOLOGIC TIME SCALE

ERA	PERIOD	EPOCH	SUCCESSION OF LIFE
CENOZOIC recent life	QUATERNARY 0-1 Million Years Rise of Man	Recent Pleistocene	
	TERTIARY 62 Million Years Rise of Mammals	Pliocene Miocene Oligocene Eocene	
MESOZOIC middle life	CRETACEOUS 72 Million Years Modern seed bearing plants. Dinosaurs		
	JURASSIC 46 Million Years First birds		
	TRIASSIC 49 Million Years Cycads, first dinosaurs		
PALEOZOIC ancient life	PERMIAN 50 Million Years First reptiles		
	PENNSYLVANIAN 30 Million Years First insects		
	MISSISSIPPIAN 35 Million Years Many crinoids		
	DEVONIAN 60 Million Years First seed plants, cartilage fish		
	SILURIAN 20 Million Years Earliest land animals		
	ORDOVICIAN 75 Million Years Early bony fish		
	CAMBRIAN 100 Million Years Invertebrate animals, Brachopoda, Trilobites		
	PRECAMBRIAN Very few fossils present (bacteria-algae-pollen?)		

- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

ABSOLUTE OUDERDOM

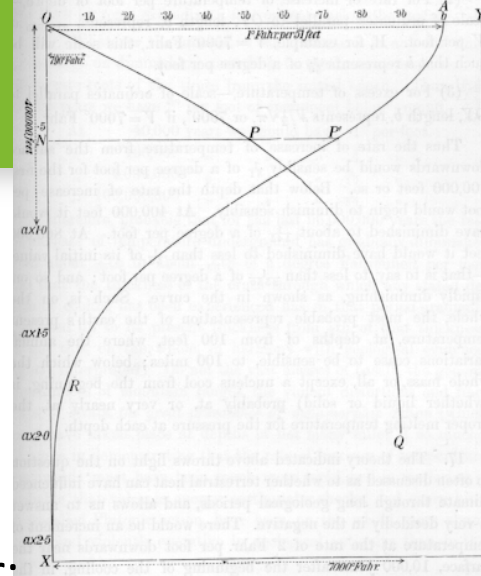
Lord Kelvin: Aarde, interne
temperatuur $>1300^\circ$: max 24 miljoen
jaar oud (anders afgekoeld)

Waarom nog niet afgekoeld? Extra warmte door:

- Kristallisatie (gesmolten $\rightarrow$ vaste aarde)
- Kinetische energie
(zware elementen
zinken naar beneden)
- Radioactief verval

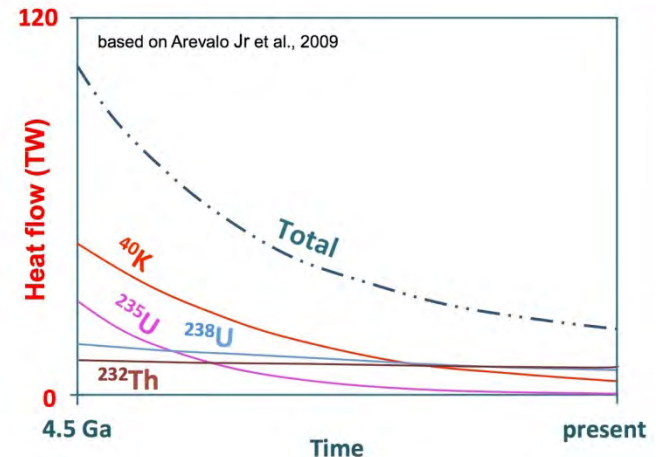


Pierre and Maria Curie
in their first laboratory



Voorwaarde?

- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!



ABSOLUTE OUDERDOM II

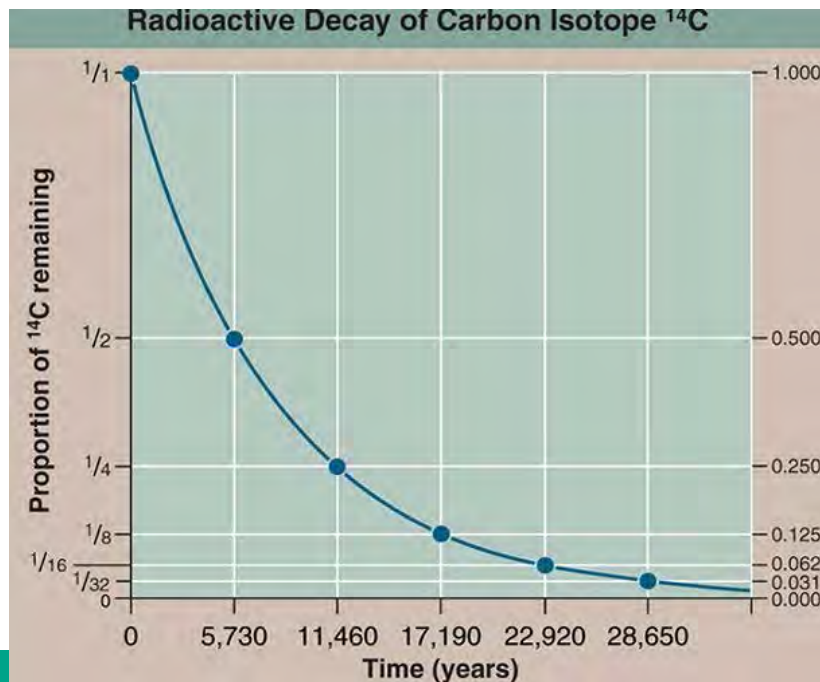
Radioactief verval?! Direct dateren!

Hoe ver terug in tijd nog
betrouwbaar?

Hangt af van halfwaarde-tijd
(tijdsduur tot helft oorspronkelijke
hoeveelheid radioactieve
element over is)

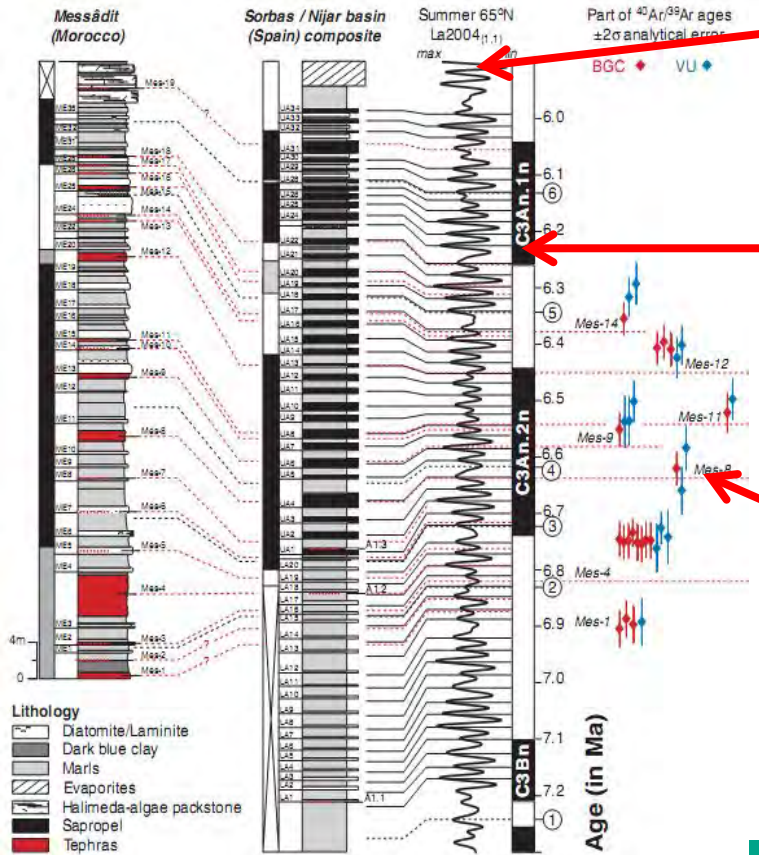
$^{238}_{92}\text{U}$	-	4.5 billion years
$^{235}_{92}\text{U}$	-	700 million years
$^{239}_{94}\text{Pu}$	-	24,000 years
$^{226}_{88}\text{Ra}$	-	1,620 years
$^{210}_{84}\text{Po}$	-	138 days

- Voorwaarde?
- Samenstelling
 - Massa
 - Baan van planeet
 - Rotatie
 - Magnetisch veld
 - Buren
 - Vloeibaar water
 - Temperatuur
 - Gelaagde planeet
 - Plaattektoniek
 - Tijd
 - Atmosfeer
 - Vrije zuurstof
 - Broeikaswereld
 - Leven zelf?!



ABSOLUTE OUDERDOM III

- Voorwaarde?
- Samenstelling
 - Massa
 - Baan van planeet
 - Rotatie
 - Magnetisch veld
 - Buren
 - Vloeibaar water
 - Temperatuur
 - Gelaagde planeet
 - Plaattektoniek
 - Tijd
 - Atmosfeer
 - Vrije zuurstof
 - Broeikaswereld
 - Leven zelf?!



Milankovic cycli
(regelmatig, cyclisch patroon)



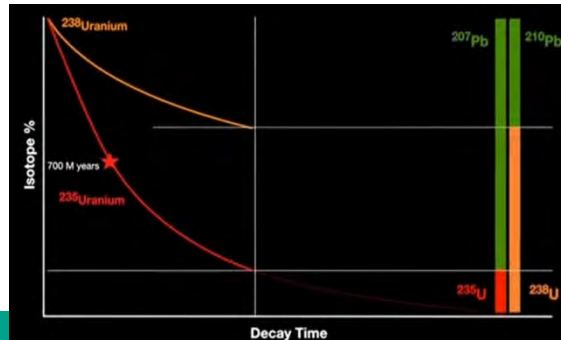
Paleomagnetisme
(ompoling aards
magnetisch veld)



Radioactieve vervalreeksen



Kleinere
foutmarges!!



VEEL TIJD NODIG VOOR COMPLEX LEVEN

Absolute ouderdom
conclusie: enorme tijd
zonder leven!

EON	ERA	PERIOD	MILLIONS OF YEARS AGO
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	1.6
		Tertiary	66
	Mesozoic	Cretaceous	138
		Jurassic	205
		Triassic	240
		Permian	290
	Paleozoic	Pennsylvanian	330
		Mississippian	360
		Devonian	410
		Silurian	435
		Ordovician	500
		Cambrian	570
	Late Proterozoic		2500
Proterozoic	Middle Proterozoic		
Archean	Early Archean		3800?
Pre-Archean			

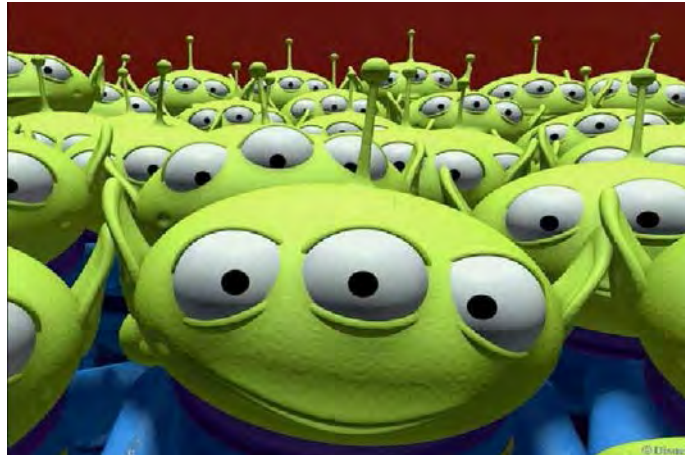
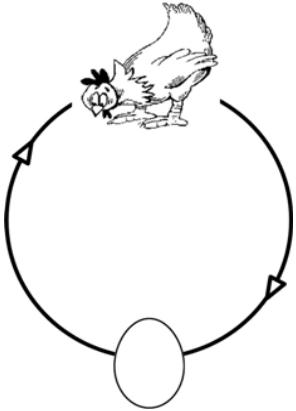


- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

VOORWAARDEN IN ORDE?

Leven op zichzelf lijkt een voorwaarde voor (complex) leven:

- > bacterien in zee -> vrije zuurstof -> ozon-laag -> bescherming tegen UV-licht
- > leven op land ..



- Voorwaarde?
- Samenstelling
- Massa
- Baan van planeet
- Rotatie
- Magnetisch veld
- Buren
- Vloeibaar water
- Temperatuur
- Gelaagde planeet
- Plaattektoniek
- Tijd
- Atmosfeer
- Vrije zuurstof
- Broeikaswereld
- Leven zelf?!

SYSTEEM AARDE!!

Complexe terugkoppelingsmechanismen
tussen alle sferen.

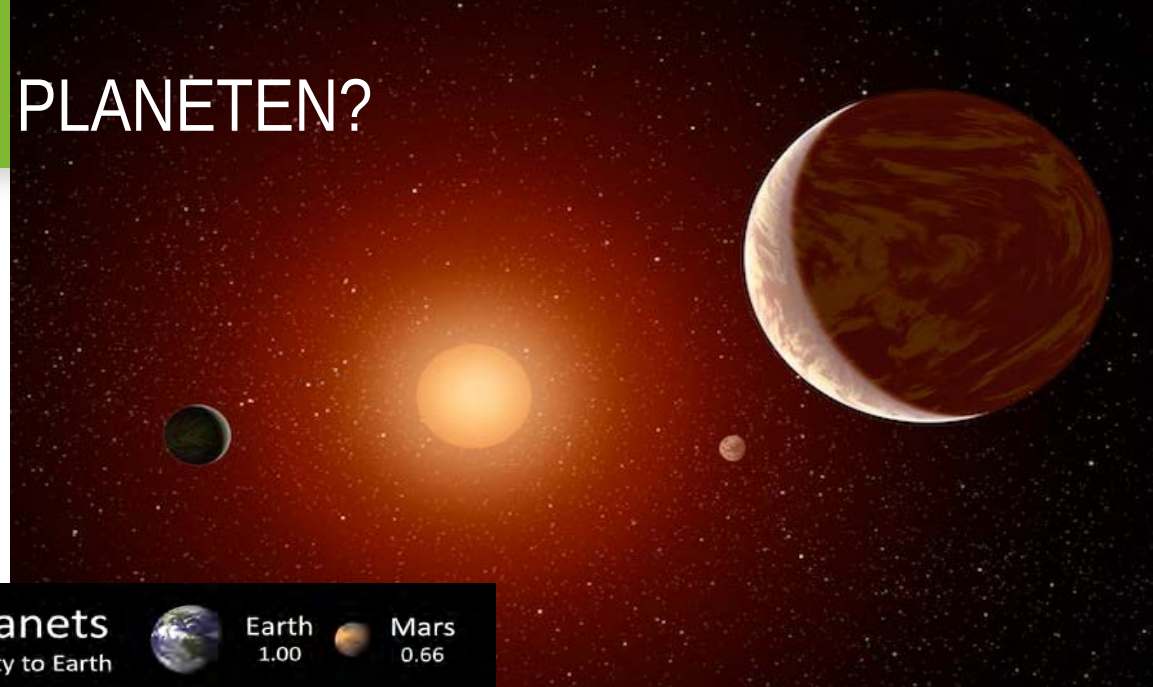
Zonder plaattektoniek
geen atmosfeer met
vloeibaar water...

Uniek?!



MEER BEWOONBARE PLANETEN?

40% van Rode Dwergen
heeft planeten van
aardse omvang...



Current Potential Habitable Exoplanets

Compared with Earth and Mars and Ranked in Order of Similarity to Earth



Earth
1.00



Mars
0.66

#1

#2

#3

#4

#5

#6

Earth Similarity Index

0.92

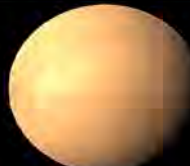
0.85

0.81

0.77

0.73

0.72



Gliese 581 g

Gliese 667C c

Kepler-22 b

HD 85512 b

Gliese 163 c

Gliese 581 d

Discovery Date

Sep 2010

Nov 2011

Dec 2011

Sep 2011

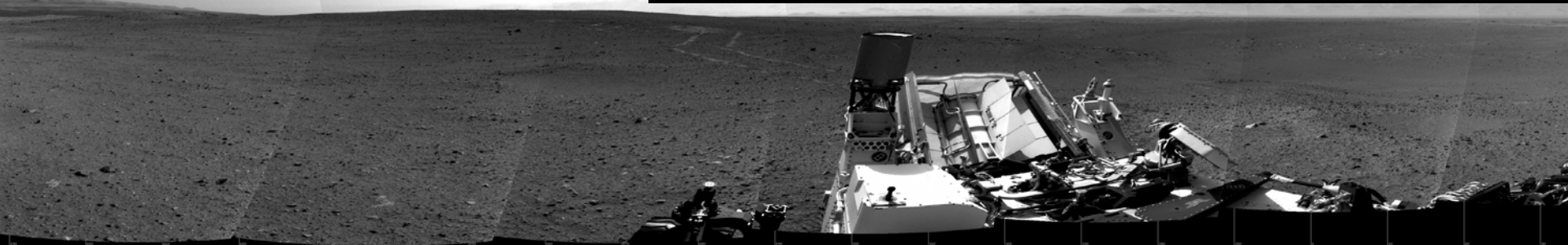
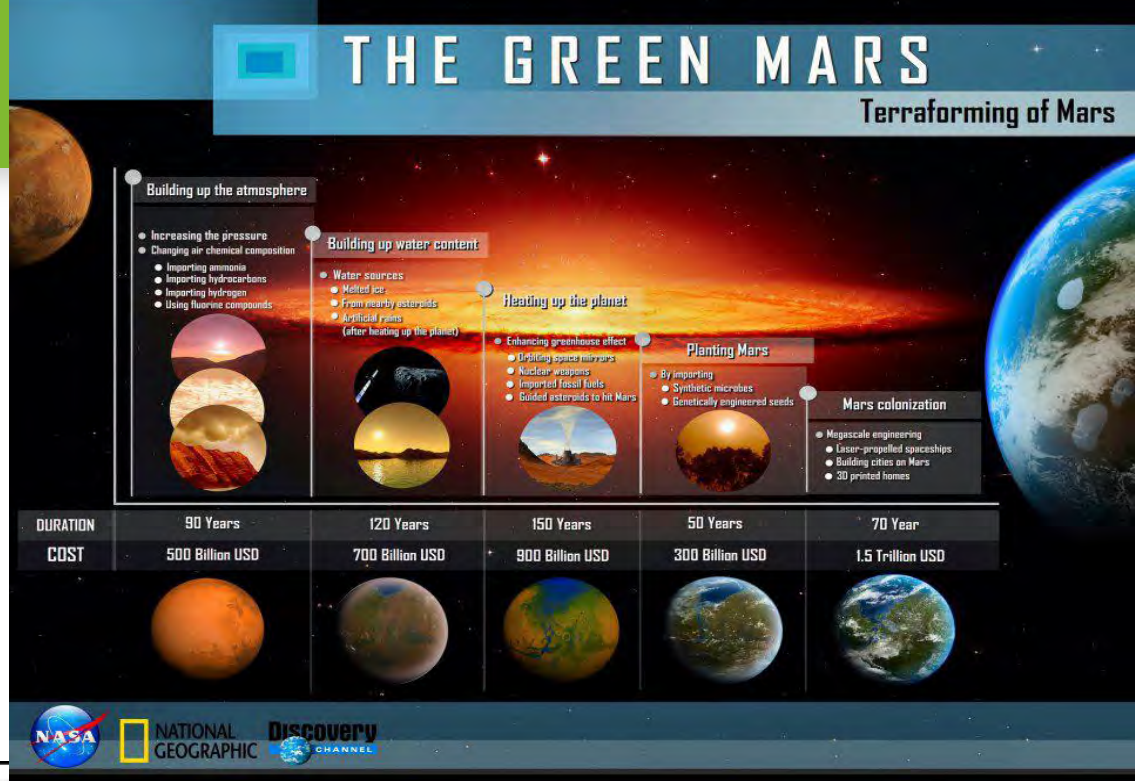
Sep 2012

Apr 2007

Rode Dwergen
~80% van alle sterren..

OF..

Hoe maak je een planeet
(weer?) bewoonbaar?



MEER INFO:

How to build a habitable planet?

Charles Langmuir and Wally Broecker

<http://www.habitableplanet.org/>



Deze presentatie via

www.falw.vu.nl/nl/voor-het-vwo/docenten/activiteiten-docenten/knag-onderwijsdag/

En/of KNAG site