
2. De aarde in de kosmos

Ons ruimteschip, rond de zon, in de Melkweg, in de kosmos

0. Inleiding

1. Nut van een persoonlijk wereldbeeld

2. De aarde in de kosmos

Overzicht	2
De kosmos, waar de aarde thuis is	2
Kijken naar kosmos en aarde	2
Kosmisch tijdsperspectief	7
Kosmos	9
Melkweg.....	16
Zonnestelsel.....	20
Slotbedenkingen bij Melkweg en zonnestelsel	24
Ruimteschip aarde.....	24
“Het gat in de Ozon”: Deel 1 De Ontdekking	40
Ontzag voor ruimteschip aarde.....	42
NAAR JE WERKBOEK	43

3. Leven op aarde

4. Kennis en organiseren

5. State of the world

6. Ken Jezelf

7. Je werkboek

Overzicht

De principes om naar de aarde te kijken leren we door te begrijpen waar de kosmos vandaan komt en hoe die leeft. De aarde suist met hoge snelheid door het heelal. Geprangd tussen atmosfeer en bodem bruisen kringlopen die eeuwig op gang gehouden worden door energie van de zon en uit de aardkern. We moeten ons bewust zijn van die kringlopen en hun werking en er dagelijks rekening mee houden.

“De mensheid moet boven de Aarde uitstijgen, tot boven in de atmosfeer, en verder, want alleen dan zullen we de wereld waarin we leven volledig begrijpen.”

Socrates

De kosmos, waar de aarde thuis is

Als we willen begrijpen wat we op aarde doen moeten we naar de kosmos kijken. Wat daar gebeurde en nog steeds gebeurt verklaart het bestaan van de aarde. Eerst verkennen we de krachten die aan het werk zijn in het heelal en krijgen we een gevoel voor de enorme tijden waarop alles in de kosmos gebeurt. Daarna verklaren we de plaats van planeet aarde in de kosmos a.d.h.v. de tweede wet van de thermodynamica uit de natuurkunde. Met daarin een speciale rol voor entropie, het bijproduct van die wet.

Dit is een verhaal over waar de aarde vandaan komt, aan welke krachten ze onderhevig is en welke processen wezenlijk zijn. Met die kennis kijken we in volgende hoofdstukken naar leven op aarde, de mens als één van de vele soorten en uiteindelijk naar onszelf als individu.

Kijken naar kosmos en aarde

Wanorde is de normale toestand

In navolging van Richard Avenarius (1843 – 1896) en Ernst Mach (1838 – 1916) gebruiken we een “Empirisch Kritische”¹ benadering om een visie op de kosmos, aarde en materie te creëren. Beiden pleitten voor een aanpak gebaseerd op waarnemingen en metingen in een concrete context en bevestiging door herhalen van de proeven. Ernst Mach, bekend van zijn studies en metingen over supersonisch geluid, had als wetenschapsfilosoof veel invloed op zowel Albert Einstein (1879 – 1955) als Werner Heisenberg (1901 – 1976)¹, de grondleggers van respectievelijk

¹ Empirie betekent “ervaring als bron van kennis”. De stroming is analytisch, omdat ze kritisch en rationeel naar eigen resultaten kijkt. De onderzoeksresultaten blijven geldig tot het tegendeel wordt aangetoond. Onderzoek is herhaalbaar en controleerbaar

de relativiteitstheorie en de kwantumfysica. Twee fundamentele theorieën om de kosmos en materie te begrijpen.

Ludwig Boltzmann (1844 – 1906), tijdgenoot van Ernst Mach en collega aan de universiteit van Wenen, leverde een grote bijdrage aan de wetenschap over materie door algemeen geldende uitspraken te doen over massa's bewegende atomen en moleculen bijv. in stoommachines. Kennis over atomen en moleculen was op dat moment vrij nieuw. Boltzmann formuleerde de impact van statistisch bewegende deeltjes in parameters als temperatuur (een maat voor de gemiddelde snelheid waarmee atomen of moleculen bewegen), druk en volume. Zo beschrijft thermodynamica de relaties tussen statistisch bewegende deeltjes deterministisch in formules waarin temperatuur, volume en druk de veranderlijken zijn. Daaruit leidde Boltzmann af dat *in gesloten systemen energie wordt omgezet (warmte stroomt altijd van warmere naar koudere bron) waarbij arbeid kan verricht worden en een deel van die energie verloren gaat*. Zo wordt in een stoommachine bijv. water opgewarmd tot stoom die door expansie een cilinder vooruit stuwt. Daarbij koelt de stoom af en gaat door wrijving een deel van de energieconversie verloren in minderwaardige en onbruikbare entropieⁱⁱ.

Dit was een grote stap in de definitie van de drie wetten van de thermodynamica die aantonen dat alle systemen altijd evolueren naar een eindtoestand van maximale entropie². In een systeem in "evenwicht" kunnen delen van het systeem verwisseld worden van toestand zonder dat de entropie en de globale eigenschappen van het systeem veranderen. Bijvoorbeeld, in een hoop stenen kan je stenen van plaats verwisselen zonder dat er iets verandert aan de algemene toestand van de hoop stenen. De hoop wordt niet hoger noch zwaarder noch warmer... Anders bekeken, is diezelfde stabiele toestand van maximale entropie statistisch gezien de toestand met de grootste kans van voorkomenⁱⁱⁱ. Als we bijv. herhaaldelijk twintig bakstenen omhoog gooien, vallen ze op een willekeurige wanordelijke hoop waarbij de plaats van elke steen niets uitmaakt. Dat is wat we verwachten. De kans dat alle stenen netjes op elkaar vallen en een geordend torentje van twintig gestapelde stenen vormen, is zo klein dan we ons zelfs niet inbeelden dat deze orde spontaan ontstaat.

Alles om ons heen evolueert spontaan naar evenwicht bij complete chaos. Later zien we dat het energie kost om daar tegen in te gaan.

Kosmos waarnemen van binnen uit

Albert Einstein (1879 – 1955) formuleert in 1905 de speciale relativiteitstheorie. Dat verandert voorgoed de manier waarop we naar de kosmos kijken. Tot dan overheerste het 16^e-eeuws

² Entropie ("en"- energie, "tropè" ommekeer)- is een begrip uit de thermodynamica dat staat voor "wanorde". In de tweede wet van de thermodynamica wordt aangetoond dat energie van vorm kan veranderen maar dat er altijd een verlies is in de vorm van toegenomen entropie. Een eenvoudig experiment: neem een classeur met bladen die keurig in volgorde zitten. Gooi die bladen een aantal keer omhoog, raap die samen en gooi opnieuw. Bij elke verzameling van de bladen zitten ze in een grotere wanorde, de entropie van de verzameling balden neemt toe.

beeld van Isaac Newton (1643 – 1727) waarbij op aarde “ruimte als entiteit absoluut is”. In die wereld zijn natuurkundige fenomenen overal gelijk en onafhankelijk van de snelheid waarmee een waarnemer zich voortbeweegt. Na meer dan tien jaar dubben verbreekt Albert Einstein dat denken^{iv}. Hij concludeert dat gelijke fenomenen door de ene waarnemer als gelijktijdig en door een andere waarnemer op verschillende momenten kunnen waargenomen worden. Dat komt omdat de ene waarnemer stilstaat en de andere beweegt. Beide waarnemers beleven een ander verloop van de tijd. Daarmee creëert Albert Einstein een beeld over de kosmos waarin “ruimtetijd absoluut is”

Albert Einstein was het later vaak oneens met conclusies die anderen formuleerden op basis van zijn relativiteitstheorie!

Als Albert Einstein van binnen uit kijkt naar die kosmos postuleert hij in 1905 dat de snelheid van het licht 300.000 km per seconde is ten opzichte van alles en iedereen^v. Als het waar is dat het licht altijd aan 300.000 km per seconde van je weggaat, of je nu zelf stilstaat of aan 225.000 km per seconde beweegt, dan kan dit enkel als je in het geval van stilstaan of bewegen een andere beleving hebt van tijd. Tijd verloopt trager als je snel beweegt dan als je stilstaat. Ruimte en tijd zijn dus voor elke waarnemer relatief in functie van hoe je beweegt. Zelfs op lage snelheden als voetganger t.o.v. auto, trein of vliegtuig speelt dat, die verschillen zijn proefondervindelijk gemeten. De verschillen in tijdsperspectief zijn in dat geval verwaarloosbaar klein. We houden er dan ook geen rekening mee.

In een tweede stelling postuleert Albert Einstein in 1915 dat de zwaartekracht die op ons inwerkt het gevolg is van de weerstand die we ondervinden van de aarde door haar constante versnelling in de kosmos^{vi}. Een grote massa in de ruimte, zoals de zon, kromt de ruimtetijd rond zich en in die kromming tolt de aarde rond in een versnellende beweging waartegen we ons verzetten. Dat verzet noemen we “zwaartekracht”.

Albert Einsteins speciale- en algemene relativiteitstheorie zijn ondertussen in verschillende extreme situaties in de ruimte uitgebreid bestudeerd, geanalyseerd en uitgetest. Ze bleven altijd geldig.

Atomen observeren van buiten af

Het beeld verandert als we van buitenaf naar de allerkleinste elementen van materie kijken. Niels Bohr (1885 – 1962) beschreef als eerste een atoommodel met een kern van protonen met daarrond een schil met elektronen. Door proeven met lichtemissie werd duidelijk dat atomen elektronen uitwisselen op hun buitenste banen en dat bij het verspringen van die elektronen licht op verschillende frequenties wordt uitgestraald. Waarom en hoe dit gebeurde en waarom de frequenties verschilden per soort atoom was echter een raadsel. Op 7 juni 1925 beschrijft Werner Heisenberg (1901 – 1976), een drieëntwintig jarige student van Niels Bohr, in

matrixvorm hoe hij de bewegingen van de elektronen tussen de banen ziet, enkel en alleen omdat die weergave klopt met de lichtspectra. De eerste stap van de kwantummechanica^{vii}!

Na veel herformuleringen, met o.a. beschrijvingen in golfformules door Erwin Schrödinger (1887 – 1961) en Paul Dirac (1902 – 1984), stabiliseert het inzicht in de kwantummechanica. Vanuit dit standpunt – kijken in het materiaal van buiten af - is de wereld korrelig i.p.v. continu en statistisch i.p.v. deterministisch. De wetten van de kwantummechanica transformeren de microkosmos alsof we er middenin staan. Albert Einstein volgde heel veel inzichten van Niels Bohr en zijn jonge medestanders, maar kon niet leven met de statistische manier waarop materie zou bestaan.

“God dobbelt niet”

Albert Einstein, een agnost die een persoonlijk godsbeeld afzwoer.

“Albert moest eens ophouden met vertellen wat God moest doen”

repliceerde Niels Bohr, die godsdienstig denken schadelijk en misleidend vond

Door de kwantummechanica werd duidelijk dat het meten van snelheid en positie van een elektron niet tegelijk kan. Ofwel meet je de snelheid en blijft de positie onnauwkeurig bepaald of omgekeerd. Dat komt omdat op deze schaal het meten van snelheid tegenstrijdige eigenschappen van een meettoestel vereist dan het meten van positie. Snelheid meten vraagt elasticiteit van het meettoestel en positie vraagt juist hardheid. Daarbij komt dat als je eerst het ene meet en daarna het andere, het ene al van waarde veranderd is.

Ondanks het feit dat maar weinig mensen de finesses van kwantumtheorie doorgronden zijn alle theoretische voorspellingen door proeven bevestigd. We gebruiken dagelijks apparaten die toepassingen zijn van kwantummechanica. De meest tastbare voorbeelden zijn geïntegreerde schakelingen in huishoudelijke toestellen en communicatieapparaten of de GPS.

Wat leren deze inzichten?

Inzicht in relaties tussen objecten gelden voor ieder geobserveerd en observerend object als beide objecten als één systeem beschouwd worden en in alle aspecten tegenover elkaar beschreven worden^{viii}.

De combinatie van thermodynamica, relativiteitstheorie en kwantummechanica leert ^{ix}:

De wereld is één continu geheel van geneste structuren.

Als je vanuit de macrowereld, waar je enkel gemiddelde waarden van statistische bewegende atomen en moleculen ervaart, inzoomt naar de microwereld ontdek je één continu geheel van in elkaar hakende bouwstenen. Een voorbeeld: van het zicht op een bos zoom je in van bomen naar taken van één boom, dan op blaadjes, dan op cellen die van fotosynthese leven. Zo kom je uit bij koolstofdioxidemoleculen die licht omzetten in glucose en die op hun beurt bestaan uit waterstof-, zuurstof- en koolstof atomen met kernen van protonen en daaromheen elektronen die bewegen t.o.v. elkaar;

De wereld van het kleine is korrelig

In atomen verspringen elektronen discreet tussen banen op een statistisch te beschrijven manier. Door het uitwisselen van elektronen tussen atomen is er een permanent vrijkomen of opslokken van energie aan 't werk;

Twee objecten die met elkaar interageren zijn tegelijkertijd betrokken

De neutrale observator moet altijd beide objecten in hun "verstrengeling" beschrijven. Daarom is het niet zo vreemd dat een relatie tussen twee objecten in een onbekende "superpositie" is tot ze beschreven wordt. De relatie tussen objecten kan meerdere kanten op tot de situatie echt waargenomen wordt en de situatie van dat moment zich voordoet in één van alle mogelijke statistisch verwachte waarden. Warm water kan bijv. alle temperatuur waarden aannemen tussen 30 en 80 °C tot de thermometer aangeeft dat het 65,7 °C, op dat ogenblik is de kans dat het 65,7°C is een feit geworden;

Metten duurt een tijd

De atomen en moleculen in het meettoestel nemen de energie van de te meten materialen over en geven daardoor de te meten waarde aan. Deze uitwisseling van energie tussen gemeten materiaal en metend materiaal verstoort licht de toestand van het gemeten object, waardoor de entropie van het gehele systeem toeneemt. Als bijv. de temperatuur van water gemeten wordt met een kwikthermometer gaan de kwikatomen in de thermometer meetrillen met die van het water op dat moment zodat het kwik in de kolom klimt tot de juiste temperatuur aanduiding, bijv. 65,7°C. Tegelijk wordt restwarmte aan de omgeving afgegeven.

Als twee observatoren dezelfde situatie beschrijven zullen er op details verschillen bestaan, bijv. door verschillen in positie. De beschrijving is niet meer exact gelijk en dus relatief voor elke observator, of m.a.w. subjectief. Als de doelstelling van de beschrijving is om relaties te bestuderen en "beter" te maken is "beter" altijd gebaseerd op het inzicht van de observator en staat die verbetering altijd in relatie tot alle andere elementen

naar Carlo Rovelli

Gewapend met deze inzichten over wetten van de natuurkunde, structuur van materie, geneste structuren en wederzijdse relaties en invloeden kijken we straks naar het ontstaan van de kosmos, materie, sterrenstelsels en de aarde. In volgende hoofdstukken gebruiken we die inzichten om te kijken naar leven, mens en de samenleving.

Kosmisch tijdsperspectief

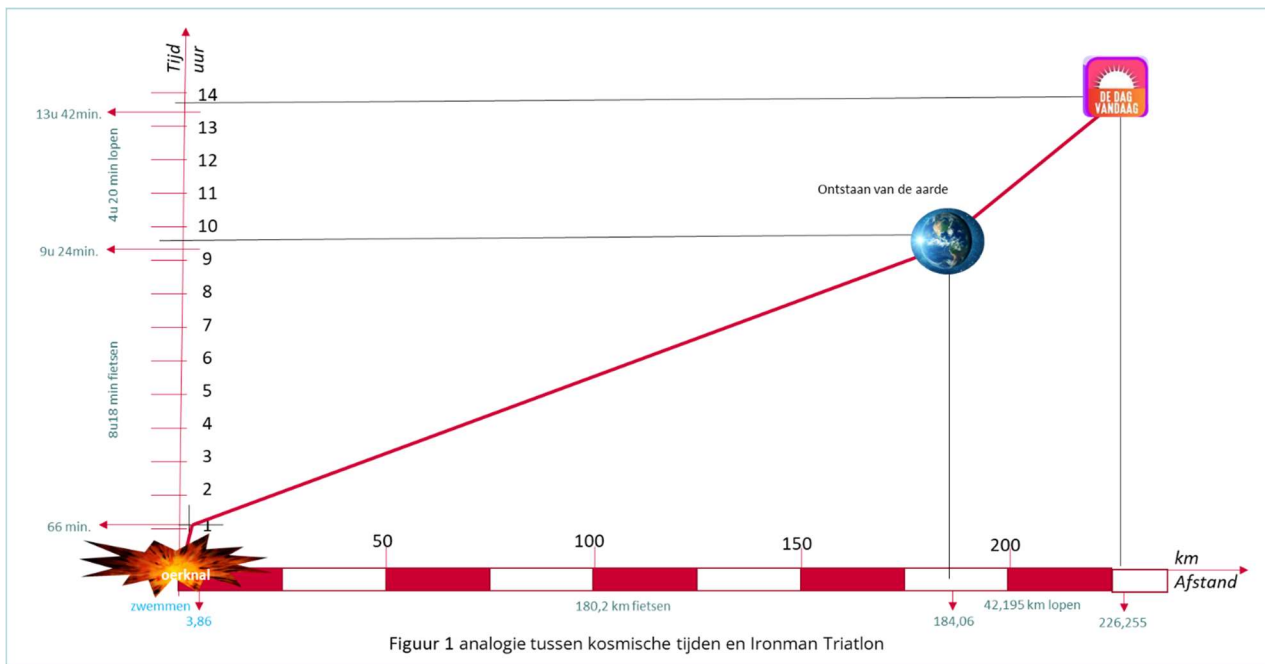
Maar eerst een intermezzo. Het is moeilijk om kosmische tijden aan te voelen en een analogie kan daarbij helpen. Vergelijk het met een Iron Man triatlon

3,81 km zwemmen in zee;

180,2 km individueel fietsen;

42,195 km lopen.

Wereldtijden zijn tussen de 7u30 en 8u30. Voor de eenvoud vergelijken we met een "matige" tijd van 13u42 min of 13,7 uur. Eén uur komt dan overeen met een periode van één miljard jaar kosmische tijd.



Het startschot van het zwemmen wordt gegeven door de oerknal en ergens rond de wissel tussen fietsen en marathon, na 9u24 sporten, ontstaan zon en aarde.

Referentiepunten naar deze Iron Man-analogie worden in de volgende paragrafen in italic weergegeven.

In deze analogie is de relatie tussen kosmische tijd enerzijds en tijd en afstand in de Iron Man triatlon de volgende:

Kosmische tijd (miljoen jaar)	Iron Man Triatlon tijd (min)	Afstand in IM Marathon (m)
1	0,06 (3,6 sec)	9,81
10	0,6 (36 sec)	98,1
100	6	981
1.000	60	9.812

Figuur 2: vergelijking kosmische tijd en tijden in IM triatlon en afstand in IM Marathon

Voel je even de verwonderde triatleet die bij het startschot in het grote niets duikt, bij het fietsen geleidelijk aan de ijle kosmos ziet ontstaan en bij de wissel naar het lopen de zon en de aarde ontwaart. Ga lopen op die aarde en zie het leven om je heen ontstaan om vlak voor het einde van de dertien en driekwart uur durende inspanning plots de mens tevoorschijn te zien komen.

Kosmos

De kosmos ontstond met een “knal”

De Belgische priester-astroloog Georges Lemaître (1894 – 1966) paste de algemene relativiteitstheorie van Albert Einstein toe op de ruimte en schreef in 1927 dat

In theorie de ruimte uitdijt met een snelheid die evenredig is met de afstand van de waarnemer tot de waargenomen sterrenstelsels.

“Je wiskunde is prima, maar je fysische conclusies zijn “abominable”

A. Einstein tegen G. Lemaître in 1927 t.g.v. de vijfde Solvay conferentie^x

In 1929 bevestigde Edwin Hubble (1889 – 1953) deze theorie door die uitdijing en de snelheid ervan te meten via de verschuivingen van lichtspectra uitgezonden door sterrenstelsels. Hij deed dat met een telescoop van 2,5 meter diameter in het Mount-Wilson laboratorium in Pasadena, Californië^{xi}. Door terug te redeneren en uit berekeningen en observaties destilleerde Lemaître in 1933 een benadering dat het heelal ooit ontstaan is en groeide uit één singulariteit. Fred Hoyle (1915 – 2001) had het daar moeilijk mee en bedacht in 1949 daarvoor als grap de term “Big Bang”. Hij zelf was adept van een steady state benadering van het heelal, zonder begin en zonder continue evolutie^{xii}. Ook Einstein had het daar aanvankelijk moeilijk mee.

De knal

Niet alles is even duidelijk en nog niet alle elementen liggen vast maar er is consensus rond de manier waarop het universum kort na zijn ontstaan evolueerde. Dit korte overzicht geeft een impressie van wat gebeurde en is gebaseerd op Greene^{xiii} en Vanwalle^{xiv}.

In tegenstelling tot wat “Big Bang” of “Oerknal” doet vermoeden gaat het om een aanhoudende opzwellende van ruimte. Alleen in het begin ging die opzwellende fors, zelfs sneller dan het licht, astronomen spreken van “inflatie”. Hierbij werd een geordende structuur met minimale entropie voor 't eerst door elkaar geschud. Dit was het begin van de stijgende entropie die op de dag van vandaag nog doorgaat.

In de eerste seconde van die inflatie, nog vóór je reageert op het startschot van de Iron Man, gebeurde heel veel. De eerste stap van expansie van 10^{-28} meter tot ongeveer 10^{-15} meter gebeurde tussen 10^{-36} en 10^{-32} seconde. Deze inflatie van het heelal ging sneller dan de snelheid van het licht – iets wat volgens de relativiteitstheorie niet kan³ - koelde het heelal

³ In deze fase van de oerknal staat alles met alles in verband in een ruimte zonder licht die met heel veel energie expandeert met factor 10^{90}

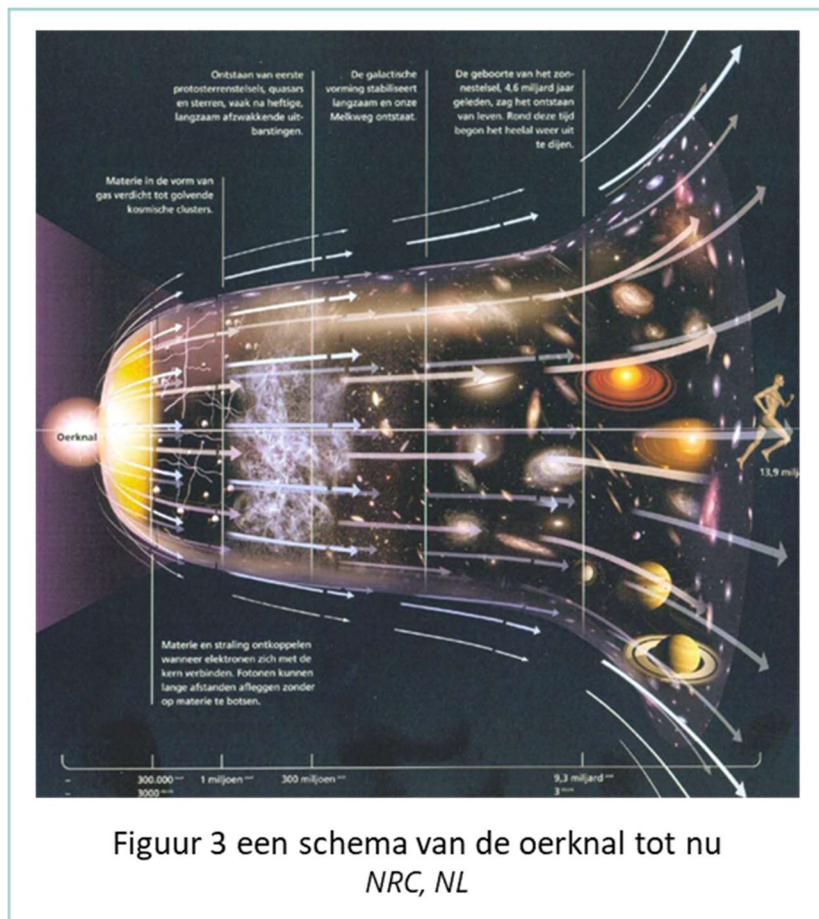
af van 10^{32} Kelvin tot $3 \cdot 10^{10}$ Kelvin. In een soort vacuüm werden een aantal elektromagnetische-, zwaartekracht- en Higgs velden gecreëerd die heel snel fluctueerden om vervolgens uiteen te spatten en de basis te vormen voor elektromagnetische krachten tussen basiselementen van latere materie (zoals quarks, protonen, neutronen en elektronen) en hun massa. Alle elementen zijn bekend uit de kwantummechanica. Vergelijk het met het uiteenspatten van een zeepbel die de energie in de bel omzet in een nevel van druppeltjes.

Tussen 10^{-32} seconde en 1 seconde in het bestaan van de kosmos ontstaat bij $1.7 \cdot 10^{10}$ Kelvin een kosmische soep met basis bouwstoffen voor onze materie. Quarks en gluonen vormen protonen en elektronen als bouwelementen voor de eerste eenvoudige atomen. In de minuten daarna ontstaan onder omstandigheden van extreem hoge druk en temperatuur^{xv} de eerste atomen Waterstof (H), nu nog 75% van de kosmos, en Helium (He), nog 25 % van de kosmos met wat resten aan deuterium en Helium 3, een zwaardere vorm van waterstof en Helium. Die atomen zijn vandaag de bouwstenen van onze zon. Het heelal koelt af tot $300 \cdot 10^6$ Kelvin.

De evolutie

Na dit helse begin komt een periode van pakweg 240.000 jaar waarin het heelal heet, ondoorzichtig en gevuld is met fotonen, atoomkernen, elektronen en donkere materie. Het koelt af tot $4 \cdot 10^3$ Kelvin. In de volgende 130.000 jaar wordt die hete plasma zo helder als onze zon nu omdat alle elementen recombineren tot een overvloed aan Waterstof en Heliumkernen. De temperatuur van het heelal zakt tot $3 \cdot 10^3$ Kelvin. *In de Iron Man is de atleet nu 0,000380 uur onderweg en heeft m.a.w. het water nog niet geraakt.*

In de volgende 150 miljoen jaar, *in de Iron Man zwemt de triatleet 9 minuten of 526 m ver*, dijt alles uit en wordt de atmosfeer gevuld met waterstof en helium. Het wordt er ijler en koelt verder af. Op dat ogenblik zijn er nog geen sterren die het firmament verlichten. Pas daarna ontstaan sterren en ganse sterrenstelsels doordat wolkenmassa's van gas onder invloed van de zwaartekracht beginnen samen te klonteren en onder druk kernfusies op gang zetten. Deze zetten waterstof om in helium waardoor deze heet worden. Vroege sterren worden geboren maar ontploffen opnieuw tot supernovae, een proces dat vandaag de dag nog steeds gebeurt in het heelal.



<https://leervandearde.weebly.com/blog/het-ontstaan-van-het-heelal>

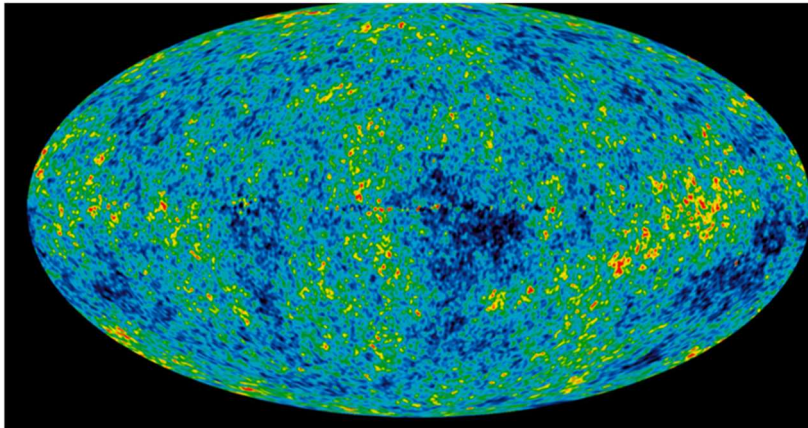
Deze figuur suggereert het “arzelend heelal”^{xvi} van G. Lemaître met een grote inflatoire start waarna de uitdijing vertraagt om de laatste 4,5 tot 4 miljard jaar weer te versnellen.

Ondertussen is het 13,7 miljard jaar na de oerknal en is de temperatuur in het heelal gedaald tot 2,725 Kelvin of -270,425 °C.

Hoe weten we dit?

Veel over materie en gedrag van materie is af te leiden uit de basisformules van de algemene relativiteitstheorie en de kwantummechanica. Het allerbelangrijkste is dat wat de theorie ons leert ook waar te nemen is. Uit de formules die ons het ontstaan van het heelal beschrijven blijkt dat er op het moment dat die fases gebeurden en in elkaar overgingen er stralingen ontstonden die we nu nog zien als “reststralingen” uit het verre verleden. Toen bij het prille begin van de kosmos zwaartekracht en elektromagnetische velden aan het plasma trokken ontstonden hetere en koelere velden die we nog zien in achtergrondstralingen^{xvii}.

De kosmische achtergrondstraling werd in 1965 toevallig ontdekt door Arno A. Penzias (1933) en Robert W. Wilson (1936). Ze werd in 1993 voor het eerst volledig in kaart gebracht door de ruimtetelescoop COBE en opnieuw, maar dan met meer detail, in het WMAP project van de NASA tussen 2001 en 2010. Hierdoor werd de geboorte van het heelal op 13,7 miljard jaar



Figuur 4 reststraling tot 400.000 jaar na de oerknal

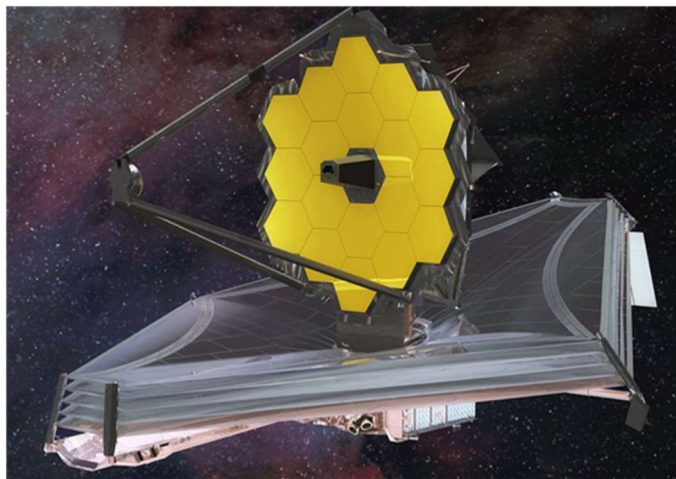
geleden gedateerd en werd aangetoond dat het heelal waarin we leven een vlakke schijf vormt. In deze foto van het WMAP kijken we naar de kosmos toen die 400.000 jaar oud was. We kijken m.a.w. naar het oorspronkelijke plasma dat toen bestond en zien de eerste onregelmatigheden die het ontstaan van sterrenstelsels in gang zette.

[Nine Year Microwave Sky Image \(nasa.gov\)](http://nasa.gov)

Zijn hiermee alle elementen van het ontstaan van het heelal opgelost en bewezen? Geenzins!

Als we de bekende materie in het heelal optellen dan is het te ijl om de zwaartekracht te verklaren. Er moet dus een "donkere materie" zijn die sterrenstelsels bijeen houdt maar die we niet waarnemen omdat ze niet reageert op onze metingen van elektromagnetische golven. Daarnaast dijt het heelal uit met een versnelling die we niet kunnen verklaren tenzij we aannemen dat de "donkere materie" de sterrenstelsels net iets meer uit elkaar duwt dan de zwaartekracht ze op elkaar laat aantrekken. De enige aanwijzing voor die donkere materie en energie ligt bij Einsteins Kosmologische Constante. Albert Einstein leidde uit zijn formules af dat het heelal zou instorten onder de zwaartekracht en dat was strijdig met zijn oorspronkelijke aanname dat het heelal statisch was. Daarom voegde hij aan zijn algemene relativiteitsvergelijking een constante Λ toe die de inkrimping neutraliseert^{xviii}. Later kwam die constante terug via de kwantummechanica en de beschrijving van de energiedichtheid van het vacuüm in de ruimte. Uit metingen van de constante volgt dat de kosmos niet statisch is maar versneld uitdijt.

Al bij al wordt vastgesteld dat in ons heelal 5% bestaat uit bekende materie, 25% uit donker materie en 70% uit donkere energie. We staan dus nog ver van het punt waarop we alles meten en kennen dat ons heelal vorm geeft. Gaan we dit detecteren met de James Webb^{4 en xix} telescoop (NGST⁵) die op Kerstmis 2021 werd gelanceerd en midden 2022 actief wordt of met de metingen van zwaartekrachtgolven die de ESA met NGGM^{6 en xx} in het begin van het volgende decennium wil opzetten?



Figuur 5 James Webb Space Telescope (JWST)

<https://www.kijkmagazine.nl/nieuws/james-webb-ruimtetelescoop-bijna-klaar/>

De foto's die sinds 12 juli van dit jaar door NASA vrijgegeven worden zijn in ieder geval spectaculair en voor de onderzoekers veelbelovend. Je kan die opvolgen op het NASA Goddard space centre of [NASA's Goddard Space Flight Center | NASA](#)

Als je dit allemaal abstract vindt dan kan je terecht in een aantal YouTube filmpjes die de NASA^{xxi} en ESA naar voor schuiven om naar zwarte gaten, vorming van sterren en bijhorende fenomenen te luisteren via "data sonification"⁷.

Punt nul: welke vonk zette alles op gang?

Meerdere verklaringen

We hebben dus een zeker inzicht in de evolutie van de kosmos van direct na de oerknal tot nu. Over hoe het hele mechanisme in gang werd gezet bij "Punt Nul" – het punt met maximale orde – is er echter nog veel discussie. Over wat er vóór dit punt bestond of juist niet is nog meer discussie.

Wat gebeurt er met ruimte, tijd en energie als we het "punt nul" naderen en bereiken? De grote unificatie waarbij alles versmelt tot één grote eenheid? Hoe kwam vóór het begin alles samen

⁴ James Edwin Webb (1906 – 1992) was een Amerikaans ambtenaar en van 14 februari 1961 tot 7 oktober 1968 de 2^e directeur van ruimtevaartorganisatie NASA

⁵ NGST: "Next Generation Space Telescope

⁶ NGGM: Next Generation Gravity Mission

⁷ Sonificatie is het gebruik van niet-spraakaudio om informatie over te brengen of gegevens aanschouwelijk te maken. Auditieve waarneming heeft voordelen wat betreft tijdgebonden, ruimtelijke, amplitude- en frequentieresolutie die mogelijkheden openen als alternatief voor of aanvulling op visualisatietechnieken. Bijv [Data Sonification: Sounds from Around the Milky Way | NASA](#)

in één structuur met grote orde en dus minimale entropie? Hoe komen de algemene relativiteitstheorie en kwantummechanica samen op moment “nul”? Is er “één theorie van alles” die ook de situatie vlak vóór de Big Bang verklaart?

Stephen Hawking bespreekt drie kandidaten^{xxii}.

Hij volgt eerst Richard Feynman (1918 - 1988) die verschillende potentiële geschiedenissen beschrijft en hun kans van bestaan berekent. Hij leidt daaruit af welke scenario's mogelijk leiden tot een heelal zoals we dat vandaag kennen en waarin intelligent leven mogelijk is;

De tweede optie poneert dat er misschien geen grenzen zijn aan tijd en ruimte. Op die manier zijn er veel voorgeschiedenissen aan ons heelal, maar ook heel veel mogelijke heelallen waar we in één van leven;

Volgens Stephen Hawking is de M-theorie of Membraan-Theorie⁸ de derde en beste kandidaat om de relativiteitstheorie en de kwantummechanica samen te brengen. Volgens die theorie zijn er tien dimensies plus de tijd. In ons heelal zien we drie dimensies en de tijd. De andere dimensies zijn opgerold en ervaren wij niet. Deze benaderingen geven aan dat ons heelal in zijn vorm en alles wat we erin kennen een puur toeval is.

Er bestaan andere universums met andere dimensies die we helemaal niet ervaren. In de inflatieperiode van het heelal, de periode van 10^{-36} en 10^{-32} seconde bij 10^{32} Kelvin waarbij het heelal “klein was” en sneller groeide dan de lichtsnelheid heersten kwantum aspecten van het kleine samen met de relativiteit van het grote. Dat geeft Alan Guth (1947) het idee dat deze inflatie niet éénmalig was maar permanent is^{xxiii}. Alan Guth formuleerde deze benadering op basis van twee vaststellingen. Hij verklaart op die manier het ontbreken van de hotspots die astronomen op basis van de algemene relativiteitstheorie in de ruimte verwachten én de grote uniformiteit in de kosmische achtergrond straling van WMAP na de heftige inflatie van direct na de oerknal. Volgens zijn benadering ontstaan er vandaag nog steeds nieuwe heelallen die een volledig andere samenstelling hebben dan ons heelal en die we daarom niet ervaren. Deze verklaring ligt in de lijn van de M-Theorie.

Andere verklaringen in lijn met de M-theorie vertrekken bij de vaststellen dat de krachten die in de Higgs velden heersten en de massa van de deeltjes bepaalden ervoor zouden zorgen dat het heelal veel sneller uitdijt dan het effectief doet^{xxiv}. Experimenten in deeltjesversnellers tonen ook aan dat als deeltjes sneller op elkaar botsen er geen massa

⁸ In 1995 verenigt Edward Witten (1951) vijf verschillend String-Theory's tot de M-Theory. S-Theory's zijn wiskundige modellen die basis fysica beschrijven ten behoeve van kernfysica, zwarte gaten fysica, de fysica over 't ontstaan van de kosmos... Ze beschrijven basis materie als trillende snaren en brengen de principes van gravitatie en kwantummechanica samen

vrijkomt maar de leegte van een zwarte gat gaapt. Op die kwantumschaal stopt de zwaartekracht de gewone werking van veldtheorieën, dus ook het Higgs veld. Misschien moeten we ons een multiversum van universa voorstellen die allemaal eigen Higgs-massa's, andere parameters en eigenschappen hebben die verschillen van ons universum. Enkel in ons universum was dan de vorming mogelijk die we kennen van atomen, sterren en planeten en dus ook leven op onze aarde.

Daarnaast is er nog een totaal andere benadering van de initiële oerknal^{xxv} en ^{xxvi}. Deze vertrekt van de aanname dat het universum vóór de oerknal een oneindig grote schijf was, totaal egaal en met minimale entropie. De oerknal gebeurde dan overal tegelijk in die schijf omdat de energiedichtheid "overal en tegelijk" omhoog schoot. Op dat moment ontstonden dezelfde mechanismes als in de oerknal vanuit een singulariteit. Er ontstaat plasma en fotonen, quarks en waterstof en helium atomen waaruit dan weer sterren en sterrenstelsel ontstonden.

Naast de vele feiten die we meten en die de modellen over de kosmos bevestigen moeten we aannemen dat de oerknal de ultieme uitdaging is om de modellen in al hun logica te laten samenkomen op het moment "nul" of daarvoor.

De ultieme "leegte"

Tot slot kunnen we opnieuw te rade bij Carlo Rovelli en zijn beschouwing over "de leegte van Nāgārjuna"^{xxvii}. Rovelli volgt hier, in lijn met zijn visie dat alles in relatie staat met alles, de thesis dat ons westers denken zekerheden wil en per sé de oorsprong van de oerknal wil verklaren. Indiase denkers laten van oudsher onzekerheid toe. Hij citeert de Indische filosoof Nāgārjuna (ergens tussen 150 – 250 NoT) in zijn these dat niets op zichzelf bestaat. Dingen bestaan enkel in functie van iets. Op zichzelf, zonder relaties, zijn ze "leeg". Als we als persoon naar dingen kijken en daar gedachten over hebben dan zijn dat gedachten die in onze hersenen ontstaan. Deze zijn ook "leeg" net als de objecten waar ze over gaan "leeg" zijn. Nāgārjuna maakt onderscheid tussen de conventionele en schijnbaar werkelijke laag van objecten van onze gedachten over die objecten. Volgens Nāgārjuna is die achterliggende werkelijkheid "leeg", ze is er niet. Dit is een metafysische beschouwing van Rovelli in een tekst die voor de rest zeer empirisch-kritisch gericht is. Het is een hint om aan te nemen dat het ultieme begrijpen van wat er was net vóór de big bang werd ingezet wel eens de grote "leegte" zou kunnen zijn. Vandaar de ultieme geachte dat we leven in een werkelijkheid die ontstond uit het niets.

Met dit inzicht in ontstaan, basisprincipes en evolutie van het heelal kijken we nu naar voor ons belangrijke componenten als de Melkweg met daarin het zonnestelsel en de aarde.

Melkweg

Sterren komen, sterren gaan

Het zonnestelsel waar de aarde toe behoort is onderdeel van het sterrenstelsel Melkweg. Ondertussen weten we door observatie dat er miljarden van dit soort sterrenstelsels zijn die elk miljarden sterren bevatten. Laat dat even goed tot je doordringen!

Hoe ontstaan sterrenstelsels? Hoe is de orde die in een ster heerst te verzoenen met de tweede wet van de thermodynamica die aangeeft dat we sinds de oerknal onderweg zijn naar steeds meer evenwicht en dus chaos met hogere entropie?

De zwaartekracht, een kracht die we op aarde als relatief zwak ervaren, is in de ruimte van het grootste belang^{xxviii}. In de MWAP foto van het prille heelal zijn zones te zien van hogere en lagere temperatuur en van minder en meer materie. De zwaartekracht zet met een grote hoeveelheid aan beschikbare elementaire waterstof atomen in doorlooptijden van honderden miljoenen jaren een basisproces op gang

- Stap 1: gaswolken worden compacter waardoor de temperatuur in de kern opwarmt en de warmte naar de schil wordt afgevoerd;
- Stap 2: door zwaartekracht en hitte krimpt de kern en wordt die warmer, de schil wordt groter en voert warmte af. Deze spiraal versterkt de werking en op den duur gaan in de kern waterstofatomen door de hoge druk en temperatuur fuseren tot heliumatomen. Dit veroorzaakt hogere temperaturen waardoor veel energie in de vorm van warmte en elektromagnetische golven, waaronder licht, worden vrijgegeven;
- Stap 3: dit zelfversterkend proces gaat miljarden jaren door tot alle brandstof op is.

Het resultaat hiervan is dat de orde in de kern toeneemt en de entropie lokaal daalt maar dat de totale entropie in de omgeving van de ster stijgt.

Ster	Temperatuur / Entropie		Volume / Entropie		Entropie Ster	Entropie ster + omgeving
Kern	+++	++	---	-	++	+
Schil	++	--	++	+		
Fusie	+++	++	---	-	warmte + licht	

Figuur 6: Overzicht verschijnselen in een ster en omgeving

Dit gebeurt permanent, op vele plaatsen tegelijk bij elke ster als onderdeel van een sterrenstelsel. In de kernen van grote sterren zijn de druk en hitte zo hoog dat kernen verder samensmelten tot complexere atoomkernen met meer protonen, neutronen en elektronen in de banen eromheen. Op deze manier ontstaan atomen tot aan ijzer in de tabel van Mendeljev^{xxix}.

Als de brandstof van een ster op is ontploft ze tot een supernova. Vervolgens stort ze ineen en sleurt ze onder invloed van de zwaartekracht alles met zich mee in een "zwart gat". Zelfs het licht ontsnapt niet uit zo'n gat. Bij schokgolven in de zwaartekracht die gepaard gaan met het ineenstorten van een ster, en ook bij botsingen tussen supernovae, ontstaan atomen van nog grotere complexiteit dan ijzer. Daarin ook favoriete metalen als zilver, goud en platina en complexe reuzenatomen als radium, uranium en plutonium. Op die manier genereert de zwaartekracht alle atomen die wij gebruiken.

Dat proces van komen en gaan van sterren is op kosmische schaal en dito tijdslijn al lang aan de gang en veel herhaald op vele plaatsen in het ganse heelal. *Het is wat de triatleet gedurende het hele fietsparcours om zich heen ziet gebeuren.*

Tot op de dag van vandaag zijn er nog nieuwe ideeën over hoe het in zijn werk gaat. Ontploffende alle sterren tot supernova's of doven ze ook op andere manieren uit? Ontstaat er ineens één groot zwart gat of groeien zwarte gaten in de loop van de kosmische tijd door de samensmelting van meerdere gaten?^{xxx} De James Webb Space Telescope (JWST) zal meer duidelijkheid brengen. De groeitheorie wint terrein, daarin smelten kleine sterrenstelsels samen met zwarte gaten tot grotere sterrenstelsels met grote zwarte gaten.

De zwaartekracht is een motor die in een ruime omgeving van sterren de entropie doet stijgen en lokaal orde toelaat.

Ons sterrenstelsel: Melkweg

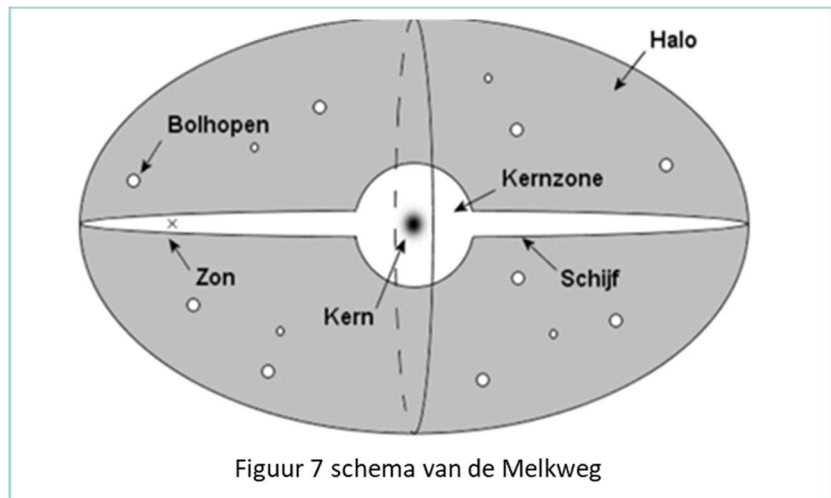
De Melkweg, het sterrenstelsel waar de zon en de aarde toe behoren, is zo'n 13,5 miljard jaar geleden, kort na de oerknal, ontstaan en is nog volop actief.

Dat is zowat na 12 minuten zwemmen in de Iron Man.

De Melkweg is zo groot dat die waarschijnlijk in meerdere fases is ontstaan door het samensmelten van kleinere sterrenstelsels rond een groeiend zwart gat.

De 200+ miljard sterren^{xxxi} die er deel van uit maken liggen in een schijf om de kern heen en zijn verspreid in uitwaaiende spiralen. Ons zonnestelsel ligt in de Orion spiraalarm. Van de ganse Melkweg zijn er 1,7 à 1,8 miljard sterren in kaart gebracht door de Gaia-satelliet van ESA⁹.

Het zwarte gat "Sagittarius A*" in de kern is verborgen achter stofwolken en kunnen we vanop aarde niet zien. Trouwens de Melkweg zien we in onze streken niet vanwege de grote lichtvervuiling. Het loont om naar lichtarme streken te gaan in Afrika of Amerika om daar te zien hoe de Melkweg 's nachts licht geeft!



<https://www.uranias.be/astronomie/sterrenkunde/sterrenstelsels/melkweg>

Tip: op de Waddeneilanden kan je al zo'n 3.500 sterren zien.

Hoe komt het dat het 's nachts donker is met al die sterren om ons heen? Door de uitdijing van het heelal wordt het licht uitgetrokken. Daardoor zijn de lichtgolven veranderd in onzichtbare radiogolven. Ook het licht van verre sterren is door de uitdijing van het heelal onzichtbaar. Veel van de hemellichamen die we zien zijn enkel waarneembaar doordat ze door de zon beschenen worden^{xxxii}.

Enkele getallen karakteriseren onze Melkweg

- De diameter komt overeen met de afstand die het licht in 100.000 jaar aflegt;
- De totale massa aan materie komt overeen met ongeveer 300 miljard keer onze zon;
- De bolvormige Halo rond de Melkweg die alle stof en gassen rond de kern omvat heeft een diameter van 200.000 lichtjaar;

⁹ Gaia is een ambitieuze ESA missie om een driedimensionale kaart van onze Melkweg te maken en zo de samenstelling, vorming en evolutie van het Melkwegstelsel te onthullen - <https://sci.esa.int/web/gaia>

- Het zwarte gat “Sagittarius A*” in de kern van de Melkweg bevat ongeveer 2,6 miljoen keer de massa van onze zon;
- De ganse structuur draait in 225 miljoen jaar rond het zwarte gat.

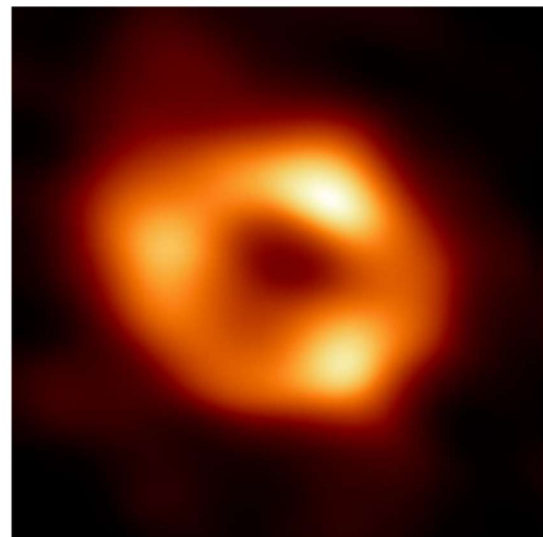


Figuur 8 twee keer een zicht op de Melkweg

https://m.standaard.be/cnt/dmf20190311_04246344?&articlehash=ADC8AD2BCA28DFEBBAA173014D67E647EAC5B28ACB6A48D1C6EBC0D013D290711ED35FF452350775F0A9F9ADECC1209674EBD3668903AC322619EC0617D37F2C

<https://www.uraniam.be/astronomie/sterrenkunde/sterrenstelsels/melkweg>

Op 11 mei 2022 publiceerde het hoofdkwartier van de Europese Zuidelijke Sterrenwacht bij München het eerste beeld van het zwarte gat in 't centrum van de Melkweg^{xxxiii}. De “foto” van “Sagittarius A*” werd genomen in April 2017 met de Event Horizon Telescope (EHT)¹⁰. De ontwikkeling van de beelden van de hete plasma's in en rond de kern duurde vijf jaar omdat ze in een half uur rond het zwarte gat draaien. Door deze snelheid waren de beelden zo diffuus dat het scherp stellen zoveel berekeningen en dus tijd vroeg.



Figuur 9 zwarte gat Sagittarius A* in de Melkweg

¹⁰ Dit is een stelsel van samenwerkende telescopen in Hawaï, Arizona, Spanje, Mexico, Chili en op de Zuidpool dat functioneert als één telescoop zo groot als de aarde

Zonnestelsel

De zon in het centrum

De zon ontstond zo'n 4,5 miljard geleden als kleinere ster die groeide door het samenklitten van gassen van een passerende ster of door de schokgolf ten gevolge van de ontploffing van een supernova.

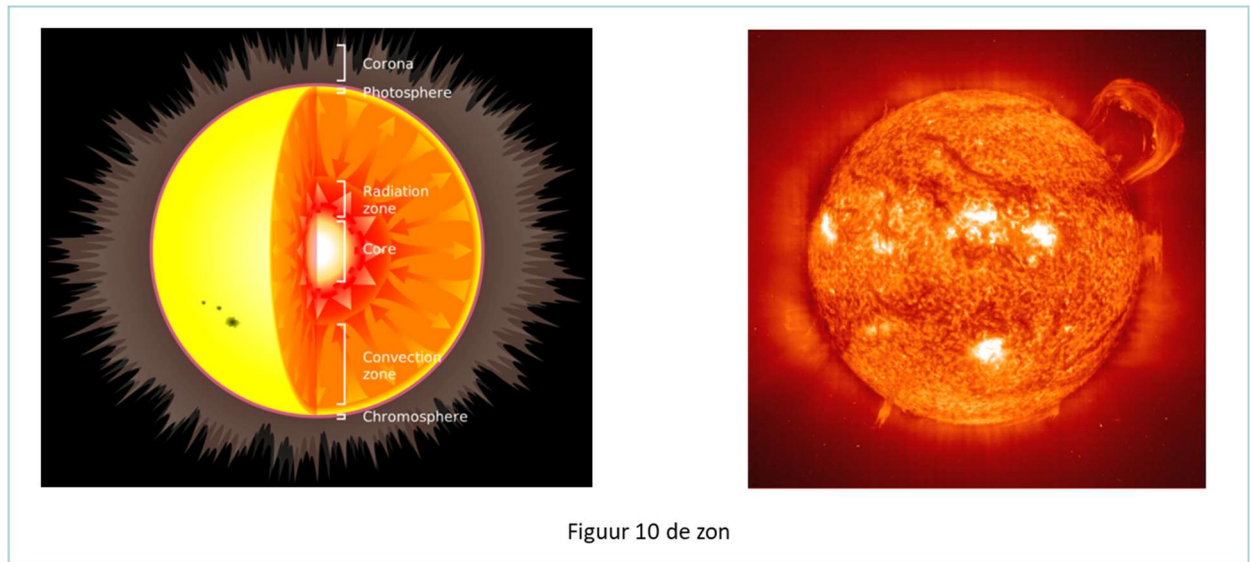
12 min of 4,32 km vóór het einde van het fietsen in de Iron Man.

Ze heeft naar schatting 10 miljard jaar te leven. In kosmische termen is de zon vrij jong en ongeveer halverwege haar leven^{xxxiv}.

Enkele kenmerken

- Als kleinere quasi bolvormige ster heeft de zon een massa van $1,991 \cdot 10^{30}$ kg – dat is 332.946 keer de aarde – en bevat ze 99,86% (!) van de massa van het totale zonnestelsel, m.a.w. alle planeten, hun manen en alle andere brokstukken samen vormen de resterende 0,14%. De totale diameter van de zon is 1.392.684 km met een kern van 200.000 km waar het 15 miljoen graden Celsius is. Daar heerst de door de zwaartekracht aangedreven fusie van 4 waterstofkernen in één heliumkern met als bijproducten de uitstoot van energie en gamma straling;
- Rond de kern is er een mantel die bestaat uit een zon van stralingstransport waar de warmte door straling wordt verplaatst en een convectiezone met hete gassen en gasbellen die warmte naar buiten brengen. Daarrond is er een fotosfeer van 600 km dik waar het nog 6.000 graden Celsius is en waar bovenop zonnevlekken dansen. Dit zijn erupties van gas onder invloed van elektromagnetische velden;
- Rond dit deel dat we zien als de zon is er nog de chromosfeer van 5000 km dik die bestaat uit ijl gas dat de basis vormt voor de corona van de zon. Die chromosfeer is het deel dat bij een zonsverduistering waarbij de maan precies tussen de aarde en de zon staat, nog steeds netjes boven de maan uit komt. De totale corona strekt zich ongeveer tien miljoen km ver uit tot voorbij Jupiter. Daarin zitten zichtbaar licht, radio- en röntgenstralen en zonnewinden van geladen deeltjes t.g.v. zonnewinden;
- De zon draait differentieel aan de polen in 36 dagen en aan de evenaar in 25 dagen om haar as. Dit kan worden waargenomen door zonnevlekken te volgen;

- Dat de zon 10 miljard jaar meegaat heeft ermee te maken dat ze in haar geheel 194 microwatt / kg aan energie produceert door fusie van waterstof die uiteindelijk opbrandt. Die energie op zichzelf is niet zoveel als je bedenkt dat ons menselijk lichaam 1,3 watt / kg produceert, maar haar massa is natuurlijk enorm;
- Op aarde wordt door straling van de zon 1.368 watt / m² opgevangen. 69% daarvan wordt geabsorbeerd door waterdamp, ozonlaag, wolken en aardoppervlak, 31% wordt weerkaatst door wolken, aardoppervlak en verstrooiing.



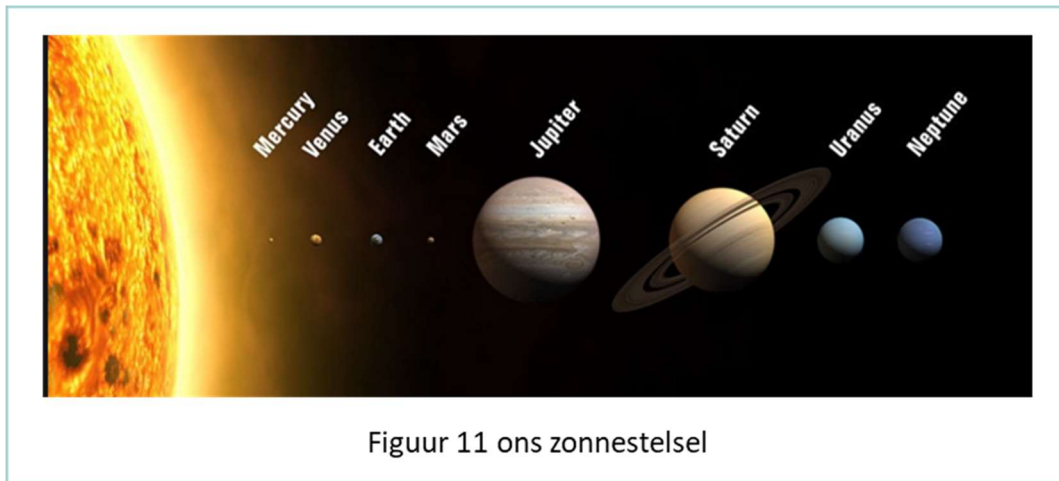
https://nl.wikibooks.org/wiki/Kosmografie/Zon_en_zonnestelsel#/media/Bestand:Solar_ternal_structure.svg

https://www.uraniam.be/astronomie/sterrenkunde/zonnestelsel/de_zon

Over de zon is nog veel te vertellen, zoals haar evolutie van protoster over haar tegenwoordige fase als hoofdreeksster – waarbij ze 30% meer energie uitstraalt dan bij het begin – hoe ze later een rode reus wordt en uiteindelijk, tussen haar 10 en 12 miljardste jaar, een witte dwerg. Of over de 22 jarige cyclus waarbij elke elf jaar de magnetische polen wisselen met effect op het aardse klimaat door de activiteit op de zon. Of over verschijnselen als zonsverduistering omdat de maan tussen zon en aarde staat en daardoor precies, bij toeval, de zon bedekt zodat we enkel de corona zien bij totale verduistering. We hebben er nog het raden naar wat er veel later precies gebeurt als de zon uitdooft.

Zal de uitdovende zon de aarde opslokken of laat ze de aarde los en wordt ze een “zwerfplaneet” die verdwijnt in een steeds verder uitdijend en uitdovend heelal^{xxxv}. Dat zijn zorgen voor over 5.000.000.000 jaar.

De planeten rond de zon



Figuur 11 ons zonnestelsel

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Zonnestelsel>

Samen met de zon ontstond het zonnestelsel eromheen, met de aarde als één van de acht¹¹ en ^{xxxvi} planeten. Deze draaien elk om hun as en rond de zon in quasi één vlak.

4.300 miljoen jaar geleden slingerden rond onze zon, die voortdurend energie uitstraalt, zoveel onzuiverheden dat die eerst op zichzelf een draaiende schijf vormden onder invloed van de zwaartekracht. *De Iron Man triatleet nadert de wissel tussen fietsen en lopen.* In die schijf klonterden afzonderlijke bollen materie samen tot planeten, waaronder onze aarde. Het hele proces duurde 300 miljoen jaar en is als mechanisme voor het eerst beschreven door Emanuel Swedenborg (1688 – 1772) en theoretisch voorspeld door Pierre Simon Laplace (1749 – 1827). In 1984 werd via een telescoop in een satelliet dit verschijnsel waargenomen rond de ster Bèta Pictoris^{xxxvii}. Zo ontstonden rond de zon kleinere rots-planeten op de binnenbanen (Mercurius, Venus, Aarde en Mars) en grote gasplaneten aan de buitenkant (Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus). Deze combinatie maakt ons zonnestelsel vrij uniek in vergelijking met andere sterren en hun planeten en wijst ook op een turbulent ontstaan. *Ter referentie, in de Iron Man doet de fietser over deze periode net vóór de wisselzone 18 minuten en fietst daarbij 6,8 km.*

¹¹ Er wordt nog voortdurend gezocht naar mogelijks meer planeten. Zo is Pluto in 1930 ontdekt, in 2006 gekwalificeerd als planeet maar alweer afgevoerd wegens te klein. Ondertussen zijn er waarnemingen in de Kuipergordel rond ons zonnestelsel van mogelijks een “Planeet Y” ter grootte van Mars, maar meer onderzoek is nodig.

Planeet	Gemiddelde afstand tot zon	Grootte	Rotatie om as	Rotatie om de zon
Mercurius	57 910 000 km	$3,303 \times 10^{23}$ kg	58,6462 dagen	87,969 dagen
Venus	108 200 000 km	$4,869 \times 10^{24}$ kg	243,0187 dagen	224,701 dagen
Aarde	149 597 000 km	$5,976 \times 10^{24}$ kg	23h56,1m	365,242 dagen
Mars	227 940 000 km	$6,421 \times 10^{23}$ kg	24h37,4m	686,980 dagen
Jupiter	778 330 000 km	$1,900 \times 10^{27}$ kg	9h55,5m	11,862 jaar
Saturnus	1 429 400 000 km	$5,688 \times 10^{26}$ kg	10h14m	29,458 jaar
Uranus	2 870 990 000 km	$8,686 \times 10^{25}$ kg	17h14m	84,010 jaar
Neptunus	4 504 300 000 km	$1,024 \times 10^{26}$ kg	16h06,5m	164,790 jaar

Figuur 12a : Overzicht van de acht planeten

<https://www.urania.be/astronomie/sterrenkunde/zonnestelsel/>

Om hier wat meer gevoel voor te krijgen kunnen we deze cijfers normeren op basis van de aarde.

Planeet	Gemiddelde afstand tot zon	Grootte	Rotatie om de as	Rotatie om de zon
Mercurius	0,39	0,068	58,646	0,241
Venus	0,79	0,815	243,019	0,615
Aarde	1,00	1,000	1,000 dag	1,000 jaar
Mars	1,54	0,107	1,021	1,877
Jupiter	5,20	317,938	0,414	11,863
Saturnus	9,56	95,180	0,427	29,458
Uranus	19,19	14,536	0,719	84,010
Neptunus	30,11	17,135	0,671	164,790

Figuur 12b : Afstand, volume en omwentelingen genormeerd op de aarde

Slotbedenkingen bij Melkweg en zonnestelsel

In het totaal spektakel van miljarden sterrenstelsels worden protonen, neutronen en elektronen voortdurend vermalen en ge(her)combineerd tot steeds complexere atomen. Het zonnestelsel is deel van het sterrenstelsel De Melkweg, een gigantisch kosmisch spektakel met 150 miljard sterren waar alles constant verandert over kosmische afstanden en tijdschaal.

In dit decor cirkelt de aarde als een ruimteschip

In de invloedssfeer van de zon waarvan ze warmte, licht en andere elektromagnetische stralingen krijgt;

In een omgeving met permanent oplopende entropie;

In de schaduw van de reus Jupiter die haar beschermt tegen rondvliegende brokstukken in het heelal.

Voel je je nog veilig? Nu focussen we op de aarde, de planeet waar we thuis zijn.

Ruimteschip aarde

Ontstaan

De Voyager 1 foto "Pale Blue Dot"^{xxxviii} van 14 februari 1990 toont hoe onze aarde eenzaam rondzweeft in het grote heelal. Het is daar gevaarlijk toeven want het heelal is vanaf het begin van zijn ontstaan voortdurend en heftig in beweging.

<https://svs.gsfc.nasa.gov/13544>



"Foto's van de aarde vanaf de maan. Dat vond ik mooi: eindelijk de mens op ware grootte..."

Wim Kan

Geboorte

In het jonge zonnestelsel was er nogal wat turbulentie en chaos^{xxxix}! Kort na het ontstaan, toen brokstukken nog volop groeiden omdat gassen errond klitten, ontstonden baanresonanties. Daardoor wisselden Uranus, Neptunus, Jupiter en Saturnus zelfs van baan. In die periode werden planeten ook gebombardeerd door ijsplanetoïden, het zgn. "Late Hevige Bombardement". De aarde draaide aan de dubbele snelheid van nu om haar as en het oppervlak bestond uit zeeën met hier en daar een vulkaan die erbovenuit stak. Ook het ontstaan en de posities van de Oort Wolk en Kuiper gordel zijn daardoor bepaald. Gans deze evolutie is duidelijk gesimuleerd in het zgn. "Nice-model", genoemd naar de Zuid Franse stad waar het berekend werd in l' Observatoire de la Côte d'Azur^{xi} en recent verfijnd aan de Michigan State University^{xii}

Jupiter is zo'n grote planeet in onze buurt dat ze de kleine aarde beschermt van al teveel inslagen van andere brokstukken zodat die aarde een "behoorlijk rustig" leven leidt in een heelal vol gevaren. Daarom wordt Jupiter soms "De Stofzuiger" genoemd. Toch onderging de jonge en nog kneedbare planeet aarde enkele grote botsingen. Die met de planeet Theïa, 4 miljard jaar geleden, verklaart het ontstaan van de maan^{xiii} die heel langzaam opschoof naar haar huidige baan en het schuin zetten van de aardas t.o.v. het draaivlak met de zon. Daarnaast waren er inslagen van meteorieten die het verdwijnen van heel veel leven verklaren, waaronder de dinosauriërs 65 miljoen jaar geleden. *Deze laatste inslag gebeurde 4 minuten of 640 meter voor het einde van de Iron Man marathon.*

"De wetten van de fysica zijn overal hetzelfde, maar de bouw van planeten is zo ingewikkeld dat het systeem chaotisch wordt"

Alessandro Morbidelli, Côte d'Azur Observatory in Nice

Status

De aarde heeft haar volume gekregen door haar relatieve positie t.o.v. Jupiter. Dat volume bepaalt alledaagse aspecten als onder andere

Dichtheid en samenstelling van materialen op aarde;

Zwaartekracht waarmee we leven;

Hoeveelheid water die de aarde kan vasthouden;

Grootte die het leven aanneemt om op de aarde te (over)leven in water, lucht of op land^{xliii}.

De relatieve grootte van de aarde t.o.v. Jupiter bepaalt dus heel veel van wat we rondom ons waarnemen en zelfs onszelf als type leven.

Onze aarde draait in een immense kosmos als eenzaam ruimteschip

Om haar as aan een omtreksnelheid van 1.670 km per uur bij de evenaar;

Rond de zon aan 107.200 km per uur;

In het hele zonnestelsel aan 828.000 km per uur om het zwarte gat in de kern van de Melkweg (de zon staat op 27.000 lichtjaar van dat centrum af);

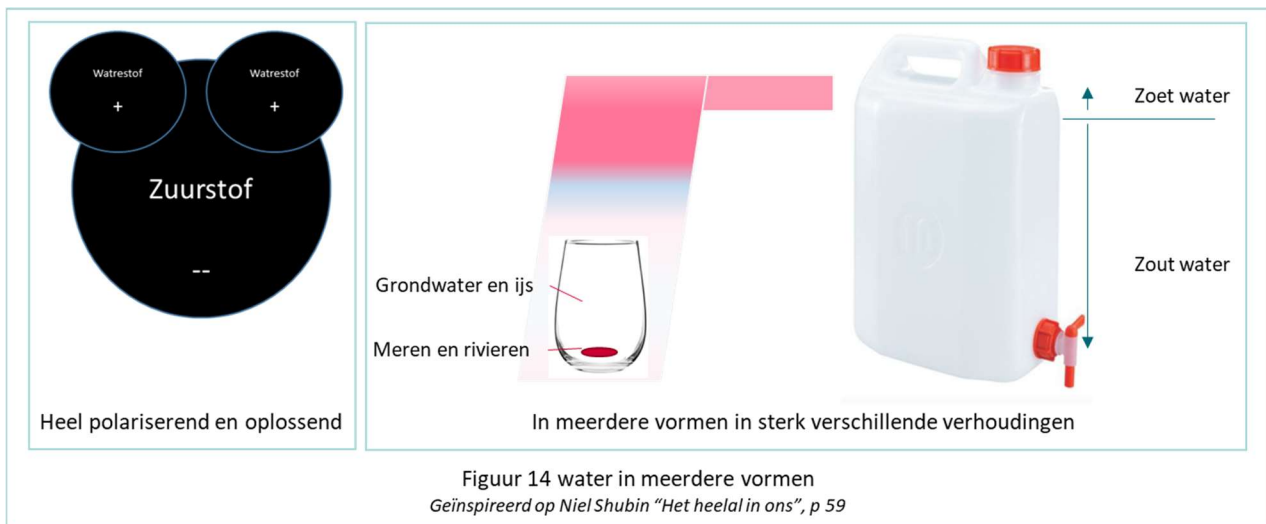
Met de Melkweg aan 2.160.000 km per uur doorheen de achtergrondstraling van het heelal.

Dat laatste is nog maar 0.2% is van de snelheid van het licht (= 1.000.000.000 km per uur).

We zijn zo gewend aan die kosmische snelheden en bijhorend versnellingen dat we die enkel voelen als "zwakke" zwaartekracht.

De aanwezigheid van tektonische platen maakt onze planeet aarde uniek. Volgens recent onderzoek van de oudste mineralen, bijv. zirkonen van 3,2 tot 4,1 miljard jaar oud, is de aardkorst 3,6 miljard jaar geleden beginnen stollen en zijn toen die horizontale structuren ontstaan. Ze laten nog steeds een verbinding tussen de hete kern en de oppervlakte toe^{xliv}.

Op aarde komt water al 4,1 miljard jaar voor, van kort na haar ontstaan *of na 12 min of 1.950 m lopen in de marathon van de Iron Man*. Dat kon niet anders omdat veel waterstof in het originele sterrenstof zat dat de aarde heeft gevormd en dat ook als ijs werd toegevoerd door inslagen van astroïden. Water heeft de eigenschappen dat het in overvloed voorkomt, materialen goed oplost en elektromagnetisch sterk polariserend is waardoor het materialen ontbindt. In atmosferische condities neemt het in functie van de temperatuur de vorm aan van ijs, water af waterdamp^{xlv}.



De Apollo 8 foto "Earthrise" ^{xlvi} toonde op 24 december 1968 voor het eerst de aarde als "ons ruimteschip" waar we met z'n allen op zitten. zonder reserve planeet of mogelijkheid om met z'n allen uit te wijken naar andere planeten.



<https://www.nasa.gov/image-feature/apollo-8-earthrise>

"We gingen naar de maan en ontdekten de aarde"

William Anders, astronaut Apollo 8

Wij zijn allemaal astronauten, kosmonauten, taïkonauten... of "Gaïanauten" in het ruimteschip aarde en in de kosmos op zoek naar de oorsprong van de aarde en de zin van het leven!

De aarde krijgt zijn marbel-achtig uitzicht door de atmosfeer^{xlvii} errond. Die bestaat uit verschillende lagen als de homosfeer (onderlaag) en heterosfeer (bovenlaag) met verschillende breuklijnen qua druk en temperatuur, zoals

Tropopauze (12 km, - 80°C);

Stratopauze (45 km, 15°C);

Mesopauze (85 km, -100°C);

Thermopauze (200 km, onbeschermd zonlicht).

De atmosfeer beschermt ons als een couveuse tegen gevaarlijke elektromagnetische stralen van zon en kosmos en tegen de afkoeling naar de 2.7 Kelvin of -270° Celsius van de kosmos.

“Earthrise” maakte veel ideeën los, gaande van het schrijven van het rapport “Grenzen aan Groei” door de “Club van Rome”^{xlviii} tot het ontstaan van “Earth System Science”^{12 en xlix}. ESS beschrijft “Gaia” als één complex levend organisme van geneste kringlopen volgens principes van de systeemtheorie.

Systeemtheorie

Een systeem is volgens Donella Meadows (1941 – 2001)

“één geheel van onderling geconnecteerde dingen – mensen, cellen, moleculen, of wat dan ook – op zo’n manier dat ze een eigen gedragspatroon in de tijd vertonen”

D. Meadows¹.

Systeemtheorie is een benadering waarin de relaties tussen alle betrokken elementen beschreven worden, volledig in lijn met de principes van Rovelli, en is belangrijk voor onze kijk op de aarde en de wereld als één geheel.

Hier worden de basisprincipes geschetst:

¹² Earth System Science (ESS) of Aardsysteemkunde is de toepassing van systeemwetenschap op de aarde. Er wordt vanuit geologie, chemie, biologie en antropologie gekeken naar interacties en "terugkoppelingen" via materiaal- en energiestromen, tussen de cycli, processen en "sferen" van subsystemen van de aarde, alsook naar de invloed van de menselijke samenleving op deze componenten.

- Alles hangt met alles samen, die samenhang begrijpen leidt naar begrip van de kern;
- Subsystemen reageren met hun omgeving;
- Om het geheel te begrijpen worden subsystemen afgezonderd – d.i. reductionisme - en bestudeerd a.d.h.v. van hun interacties met elkaar en met de omgeving;
- Emergentie is het resultaat van veel samenwerkende subsystemen waardoor het geheel veel groter, complexer en sterker wordt dan de afzonderlijke delen;
- Feedback en feed-forward zijn interacties van subsystemen op elkaar. Elke actie in één subsysteem leidt tot reactie in een ander subsysteem. Dit kan leiden tot imploderen, stabiliseren, resoneren of exploderen van het geheel;
- Mapping is een techniek om het gedrag van (sub)systemen te beschrijven. Dit door aan te geven welke relaties karakteristieken met elkaar hebben (Input – Process – Output verbanden). Karakteristieken beschrijven eigenschappen van subsystemen en worden gekwantificeerd met één of meerdere parameters;
- Causaliteit beschrijft interacties, reacties, feedback- en feed-forward-verbanden en hun vaste gevolgen. Het summum van beschrijven zijn wiskundige formules die verbanden deterministisch of statistisch weergeven. Daardoor ontstaat een (vereenvoudigd) “model” van de reële subsystemen en hun interactie met de omgeving dat toelaat om werkelijk gedrag te voorspellen;
- Het grootste probleem in systemen zijn “niet-lineariteiten” waardoor een systeem onverwacht reageert. Omdat modellen deze niet-lineariteiten soms missen kunnen ze het gedrag van een reëel systeem volledig verkeerd voorspellen.

De aarde is een subsysteem in het zonnestelsel, dat op zijn beurt een subsysteem is binnen de Melkweg. De aarde als subsysteem is onderhevig aan permanente energiestromen vanuit de zon naar de ruimte (licht, warmte, stralingen en entropie stijgen in de wijde omgeving van de zon), maar ook vanuit de kern van de aarde komt energie vrij door de voortdurende radioactieve afbraak van haar hete kern.

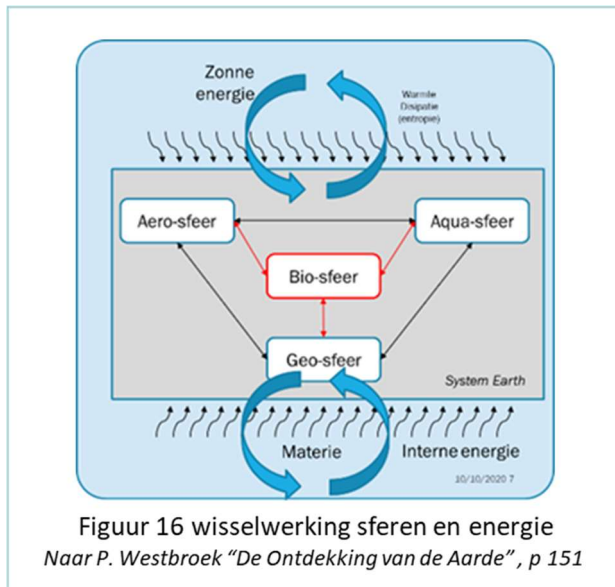
Permanente energiestromen van zon en aardkern onderhouden voortdurend onevenwicht rond, op en in de aarde. De aarde leeft! De aarde evolueert continu naar evenwicht in energiestromen. Entropie neemt toe op aarde, rond de zon en in het heelal, maar lokaal kan die op aarde afnemen waardoor orde ontstaat. Stromen van energie en materiaal vormen systemische kringlopen die verleden met heden en toekomst verbinden en zo de gang van de tijd bepalen. Alles wat op aarde gebeurt is onderworpen

aan de basis natuurwetten van de thermodynamica, mechanica, relativiteitstheorie, kwantummechanica of uiteindelijk de M-theorie als theorie van alles.

“Ik ben astronaut van ruimteschip Aarde.”

Wubbo Ockels, Nederlands 1° ruimtevaarder de dag voor hij stierf

Systeme aarde

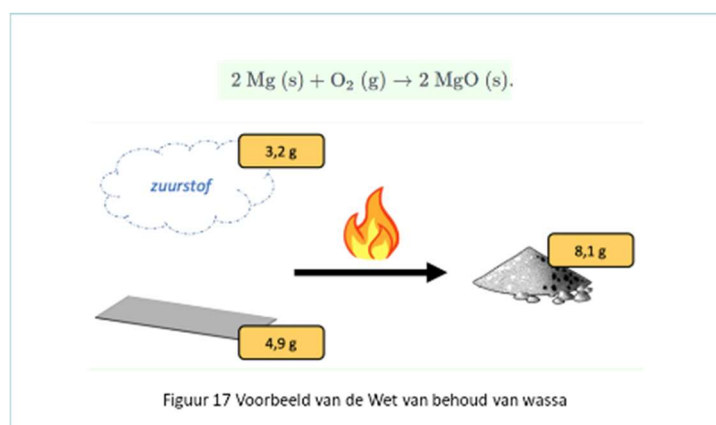


De aarde is een "systeem" dat functioneert en evolueert binnen het zonnestelsel. Earth System Science^{li} bestudeert dat systeem in vier sferen en hun relatie tot externe en interne energiestromen:

- **Geo-sfeer:** gesteentes in alle vormen
- **Aero-sfeer:** lucht en gassen
- **Aqua-sfeer:** water in al zijn vormen
- **Bio-sfeer:** leven in al zijn vormen (zie volgend hoofdstuk).

Aangedreven door externe zonne-energie en interne energiestromen vanuit de vloeibare aardkern reageren deze vier sferen voortdurend op elkaar.

De aarde is een gesloten systeem voor materie. In veel processen verandert materie van vorm maar volgens de wet van "behoud van massa" van Antoine Lavoisier (1743 – 1794) verdwijnt nergens materie. De hoeveelheid atomen in het systeem blijft gelijk vóór en na een transformatie. Materie verandert van toestand. Gas verbrandt vaste stof tot andere stof maar massa blijft behouden.



Kringlopen tussen sferen

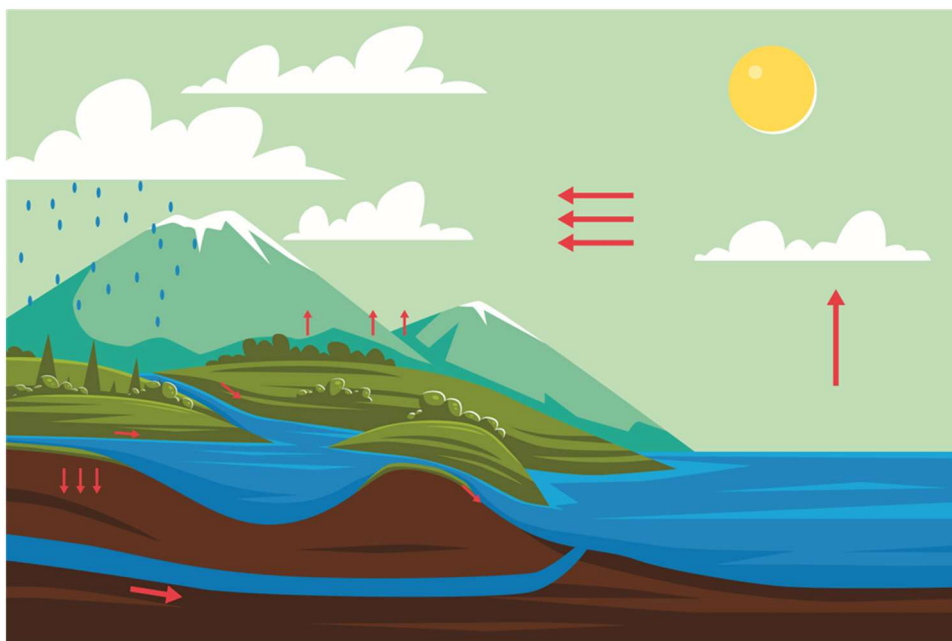
Een eenvoudig en bekend voorbeeld van een kringloop op aarde is de “waterkringloop”.

Water uit zee (aquasfeer) of flora (biosfeer) verdampt en vormt wolken;

De wind (aerosfeer) drijft wolken over land (geosfeer);

Wolken condenseren tot sneeuw of regen (aquasfeer) die neervalt;

Op de onder- of bovengrondse terugweg naar zee sleurt water geërodeerde materie als zand (geosfeer), dieren (biosfeer) en bomen (biosfeer) mee.



Figuur 18 De Waterkringloop

Zo zijn er meerdere fundamentele kringlopen die over verschillende sferen heen in elkaar haken. Het is belangrijk in te zien dat onze wereld vol zit van dergelijke kringlopen die elkaar onderling in evenwicht houden.

Hier volgen een paar interessante voorbeelden ter illustratie.

Kalk- of koolstofcycli

De inwendige druk vanuit de aarde duwt tektonische platen tegen elkaar waardoor grondlagen met daarin kalk omhoog komen. De water kringloop van hierboven brengt dit kalk als

erosiemateriaal terug naar zee waar het langzaam naar de bodem zinkt. Op weg naar de zeebodem wordt kalk gebruikt door organismen als schelpen en oesters om te leven en te groeien. Een deel van de kalk dat de bodem bereikt wordt aangevuld met kalk afkomstig van afgestorven organismen. Het verdwijnt langs spleten en kloven tussen de platen weer in de aarde om 300 miljoen jaar later opnieuw naar boven te komen bij aardbevingen of vulkaanuitbarstingen.

Planten vergaan en worden in de bodem na miljoenen jaren door druk en temperatuur omgezet tot steenkool, aardolie en aardgas. De mens ontgint deze stoffen en verbrandt ze als fossiele brandstoffen voor hun energie. De vrijgekomen koolstof verbindt zich met zuurstof tot CO₂ die bij grote hoeveelheden in de atmosfeer de thermostaat van de aarde ontregelt.

Planten verbruiken tijdens de dag koolstofdioxide bij fotosynthese om te groeien en een deel van die koolstof wordt 's nachts weer vrij geven. Planten nemen netto CO₂ op uit de atmosfeer en beïnvloeden daardoor de thermostaat van de aarde op een gunstige manier.

Zo ontstaat een complexe en permanente kringloop van kalk of koolstof (C) verbonden met zuurstof tot CO₂. CO₂ is bouwstof voor leven op aarde en zorgt als thermostaat ervoor dat de aarde niet koud wordt zoals Mars (-63°C) en niet warm als Venus (500°C).

Svante Arrhenius (1859 – 1927) wees als eerste CO₂-concentratie aan als thermostaat van ons klimaat. Arrhenius is een betovergrootvader van Greta Thunberg^{lii}.

Straalstroom en golfstroom

Dit zijn twee cycli die het klimaat en het weer van elk dag bepalen.

De straalstroom ontstaat waar warme evenaarslucht botst met koude poolvlucht rond de 60° breedtegraad (iets ten noorden van België). Die luchtlaag waaiert als een stroom op 10 km hoogte, is pakweg 5 km dik, enkele honderden meter breed en duizenden km lang. Door de kronkelende beweging van de straalstroom ontstaan lage- en hogedrukgebieden die ons dagelijks weer bepalen. De jaarlijkse zomer-winter cycli zorgen ervoor dat de straalstroom zich verlegt en ons weer verandert. Door opwarming van de atmosfeer valt de straalstroom van tijd tot tijd stil waardoor regen of droogte op bepaalde locaties veel langer aanhouden dan normaal^{liiii}. Op den duur verandert het klimaat.

De golfstroom is een transportband van warm water doorheen alle wereldzeeën. In omvang is deze tot dertig keer het volume van alle rivieren op aarde samen. De golfstroom ontstaat in de Golf van Mexico en trekt over de Atlantische oceaan tot de Europese kusten. Daar koelt hij af en aan de noordpool duikt hij de diepte in waarbij CO₂ mee naar beneden wordt gesleurd. Via een complex patroon van koude diepte- en warmere oppervlaktestromingen sluit de kring doorheen alle wereldzeeën zich bij de oorsprong in de Golf van Mexico. De golfstroom heeft overal in de wereld een grote invloed op het klimaat en bepaalt o.a. afwisseling tussen droge

periodes en regenseizoenen. De grote motor voor de golfstroom zijn turbulenties bij de Zuid-Afrikaanse kust waar Atlantische en Indische Oceaan samen komen^{liv}. Door opwarming aan de polen komt meer zoetwater in de golfstroom. Omdat dit water minder snel afkoelt en trager daalt vertraagt de golfstroom. Kan de golfstroom weer overgaan naar een zwakke modus zoals dat zo'n 13.000 jaar geleden het geval was voor een periode van 1.300 jaar? Dat zou voor een grote afkoeling in onze gebieden zorgen en meteen het klimaat over de hele wereld verstoren.

Veranderingen in straalstroom en de golfstroom versterken elkaar. Als onder invloed van een stilgevallen straalstroom het poolijs sneller smelt vertraagt de golfstroom meer en neemt de CO₂-concentratie in de atmosfeer verder toe^{lv}. Daardoor smelt het poolijs weer sneller.

Nitraat cyclus

Stikstof komt in ruime mate voor in de lucht als een sterke N₂-binding. Door bacteriën en bliksem wordt die binding omgezet in ammonium dat samen met regenwater in de grond dringt. Daar is het een sleutelproduct om planten te laten groeien. Planten worden dan weer afgebroken door bacteriën waardoor stikstof weer in de lucht terecht komt.

Door zijn eetcultuur verstoort de mens deze cyclus!

Het Harber-Bosch proces^{lvi} voor het aanmaken van kunstmeststof vanuit stikstof laat vandaag toe dat er voldoende landbouwproducten zijn voor acht miljard mensen op aarde^{lvii}. Maar dit chemische proces creëert veel CO₂ als bijproduct. Van alle landbouwproducten gaat 60% als voeding naar vee voor vlees- en melkproductie en 40% naar mensen als plantaardig voedsel. Door meer (runds-) vlees te eten verhoogt de mens de concentratie aan CO₂ in de aero-sfeer wat de thermostaat verder ontregelt.

Hier is een opmerking op zijn plaats. In industriële landbouwgebieden als het onze wordt veel teveel stikstof gebruikt waardoor de flora verschaalt en bijhorende fauna uitsterft. Deze verschraling brengt een spiraal op gang die uiteindelijk leidt tot een overwoekering door enkele plant- en diersoorten. Een duidelijk voorbeeld van hoe kringlopen uit evenwicht geraken door menselijke activiteit.

Van dit soort kringlopen zijn ondertussen veel systeemmodellen gebouwd die ons de samenhang en de wederzijdse impact leren begrijpen. De eerste eenvoudige computermodellen werden in 1972 gebruikt door de Club van Rome om de eindigheid van onze aarde als bron van energie en voedsel te voorspellen. Ondertussen gebruiken wetenschappers die aan rapporten voor het IPCC¹³ schrijven veel complexere modellen om de evolutie van de klimaatverandering en het effect ervan op de aarde en haar kringlopen te berekenen^{lviii}. Telkens informaticabedrijven met snellere hardware, database software en nieuwe AI-technieken komen kunnen deze modellen complexer worden zonder in te boeten aan rekensnelheid.

¹³ IPCC: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is the United Nations body for assessing the science related to climate change. www.ipcc.ch

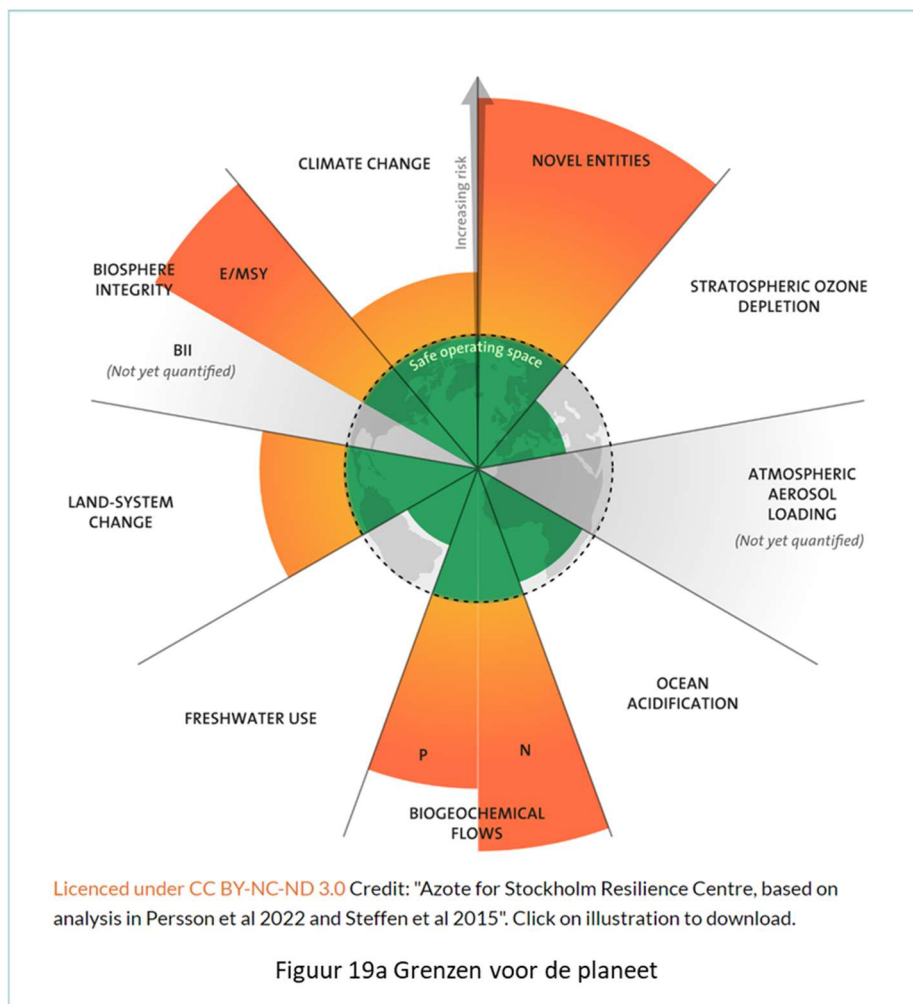
Het beste voorbeeld dat alle kringlopen van Gaia goed op elkaar aansluiten is dat de natuur geen afval produceert. Alles haakt in elkaar en wat binnen de ene kringloop "afval" zou kunnen zijn is "voedsel" voor andere kringlopen.

Grenzen aan de draagkracht van systeem aarde

Zijn er limieten aan de evenwichten tussen de in elkaar grijpende kringlopen? Wat zijn de gevolgen als die evenwichten uit balans geraken?

Johan Rockström (1965) van het Stockholm Resilience Centre (SRC) identificeerde negen planetaire grenzen waar we binnen moeten blijven om veilig te opereren op aarde. Dit betekent dat als de aarde buiten deze grenzen gedreven wordt de evenwichten tussen kringlopen zich drastisch verleggen met alle gevolgen van dien. Het SRC monitort deze grenzen en formuleert met regelmaat van een klok waarschuwingen en adviezen^{lix}.

Een overzicht van deze negen grenzen en hun status per eind 2021.



[Planetary boundaries - Stockholm Resilience Centre](#)

Planetaire grens	Omschrijving	Status 2021
Opwarming	Koolstofdioxide in atmosfeer	Overschreden
Nieuwe entiteiten	Concentratie toxische stoffen, plastic, zware metalen	Sterk Overschreden
Ozon in stratosfeer	Ozonconcentratie	Niet overschreden
Aerosolen in atmosfeer	Concentratie deeltjes in atmosfeer	Nog geen status
Oceaanverzuring	Gemiddelde verzadigingsgraad aragoniet in zee	Bijna overschreden
Stikstof kringlopen Fosfor kringlopen	Hoeveelheid stikstof / fosfor in atmosfeer	Sterk Overschreden Overschreden
Fosfor kringlopen	Hoeveelheid fosfor in oceanen	Bijna overschreden
Waterschaarste	Consumptie zoetwater per persoon	Bijna overschreden
Landgebruik	Percentage land in gebruik voor landbouw	Overschreden
Biodiversiteit ¹⁴	Aantal soorten dat uitsterft per miljoen per jaar	Sterk Overschreden

Figuur 19b: Status grenzen voor de planeet in 2022

De draagkracht van de aarde is al overschreden voor

Opwarming: klimaatopwarming door ontregeling van de koolstofkringloop, vooral door emissie van CO₂ (verbranding) en methaan (veeteelt) in de atmosfeer;

Stikstof: versralen van plantengroei, vooral door het inbrengen van stikstofoxide en ammoniak door veeteelt en kunstmeststoffen;

¹⁴ E/MSY : Extinctions / Mammal Species Year

Nieuwe entiteiten¹⁵: vervuiling door het grootschalig produceren, verbruiken en dumpen van materialen die niet door de natuur voortgebracht en / of verwerkt worden. Dit zijn onder andere micro-plastics, zware metalen, radioactieve materialen, genetisch gemanipuleerde organismes;

Biodiversiteit: afname van het aantal soorten planten en dieren door de combinatie van opwarming, vershraling van plantensoorten en vergiftiging door allerlei vreemde materialen waardoor soorten zich onvoldoende voortplanten in vertrouwde biotopen.

Voor stikstof (N₂) en nieuwe entiteiten is de draagkracht al ruim overschreden. De hoeveelheden Stikstofdioxide (NO₂) en Ammoniak (NH₃) krijgen in het deltagebied van Schelde, Maas en Rijn stilaan de vorm van een stikstofmoeras. Nederlandse en Belgische rechters keurden in 2020 en 2021 vergunningen af voor nieuwe investeringen in varkens- en pluimveestallen. Hierdoor moesten de overheden van Nederland en Vlaanderen wetten aanpassen om te voldoen aan de EU richtlijnen over Natura2000^x. Kernproblemen zijn^{lxi}

De veeteelt op een te kleine oppervlakte die veel te intens is;

Veehouders worden door eigenaren van veevoederbedrijven en banken gedwongen te investeren in schaalvergroting met gebruik van technologieën om efficiënt te werken en afgeleide milieuproblemen te minimaliseren;

Technische oplossingen voor uitwassen en opvangen van schadelijke stoffen leveren bijlange niet de resultaten die producenten beloven of ze worden verkeerd gebruikt.

Zo bekeken is het stikstofprobleem en zijn aanpak in de Lage Landen een schoolvoorbeeld van hoe de technologische vooruitgang, gesteund door de kapitalistische economische groeimodellen, botst met de draagkracht van de aarde. Natura2000-richtlijnen van de EU^{lxii} beschermen die draagkracht.

Omdat klimaat heel zichtbaar en voelbaar is voor alle mensen focust deze tekst verder op oorzaken, evoluties, bescherming en aanpak voor de begrenzing van de temperatuur van de atmosfeer. Klimaatverandering is een rechtstreeks gevolg van hoe wij de kringlopen gebruiken en verstoren en staat model voor de manieren waarop wij veranderingen aanbrengen in kringlopen en hun onderlinge evenwichten.

¹⁵ Nieuwe entiteiten of Novel Entities: dingen die in het milieu zijn gecreëerd en geïntroduceerd door mensen, die positieve of negatieve versturende effecten op het aardsysteem kunnen hebben en kunnen omvatten, zie <https://www.anthropocene.info/pb2.php>

Evolutie van sferen

De aarde is een wrede plaats om te leven. Door de energie uit de kosmos en van binnen uit en door kringlopen tussen de sferen verandert elke sfeer voortdurend.

Aardbevingen en vulkaanuitbarstingen op de grenzen tussen de tektonische platen hebben grote gevolgen voor de aanwezige zuurstof, koolstof en koolstofdioxide op aarde en bijgevolg ook voor klimaat en leven op aarde.

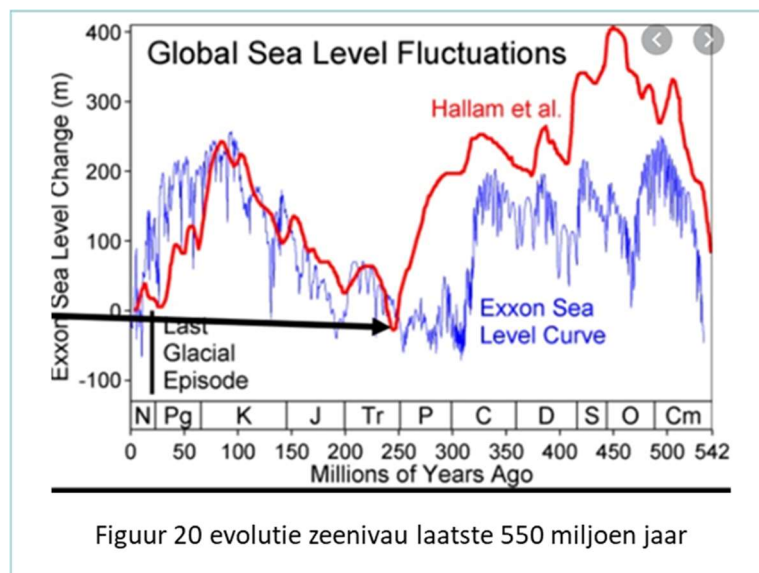
In de *geo-sfeer* zijn continenten voortdurend in beweging. Aardbevingen en vulkaanuitbarstingen zijn de verre echo van de continentendrift tussen 200 en 60 miljoen jaar geleden, *ergens tussen km 40,2 en 41,6 van de triatleet in de Iron Man Marathon*

Continenten ontstonden en kregen hun vorm uit het ene oorspronkelijke supercontinent Pangea;

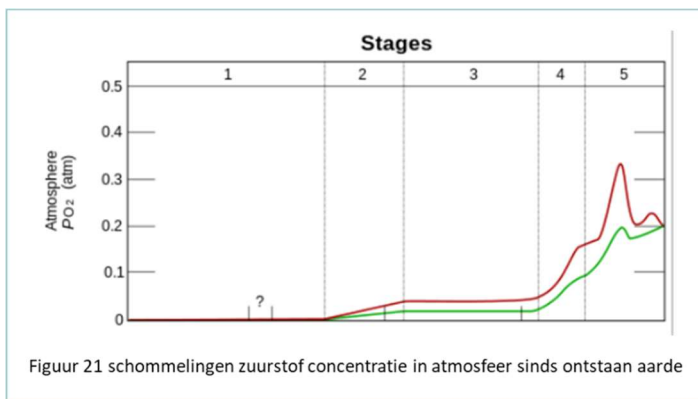
Botsende continenten zorgden voor grote bergketens. Deze vormden obstakels die luchtstromingen en waterkringlopen beïnvloedden, waardoor het klimaat veranderde. Bijv. toen het Indische subcontinent 52 miljoen jaar geleden tegen Azië aanbotste en de Himalaya ontstond koelde de aarde sterk af;

Op de oceaانبodem ontstaan in kloven tussen de platen bij 350° C nog steeds metalen waar op vandaag veel vraag naar is, zoals nikkel, koper, mangaan en kobalt.^{lxiii}

In de *aqua-sfeer* schommelde de zeespiegel in de voorbije 550 miljoen jaar t.o.v. het huidige pijl tussen + 400 m (450 miljoen jaar geleden) en - 50 m (250 miljoen jaar geleden) in functie van ijstijden en warme periodes.



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



In de aero-sfeer ging de concentratie aan zuurstof in fases – tussen de rode en groen lijn - van 0% in de atmosfeer over 5, 10 en pieken van 35% naar de huidige 21%.

Bij schommelingen van zuurstofconcentratie in de atmosfeer stierf bijna alle bestaande leven in de bio-sfeer uit.

https://nl.wikipedia.org/wiki/Geschiedenis_van_de_Aarde

De aarde is één levend organisme dat continu verandert, soms heel heftig bij vulkaanuitbarstingen of aardbevingen, meestal heel langzaam en traag. Het belangrijke inzicht is dat de vier sferen onderling verbonden zijn door veel en complex in elkaar hakende kringlopen waarvan we de totale samenhang maar langzaam doorgronden.

Cyclische bewegingen

Het klimaat wordt ook beïnvloed door cycli die Milankovic (1879 - 1958) theoretisch beschreef. Later werden die bevestigd door metingen van koolstof- en zuurstofvarianten in boringen van de oceaانبodem en ijslagen op verschillende werelddelen. Deze cycli zijn de superpositie van

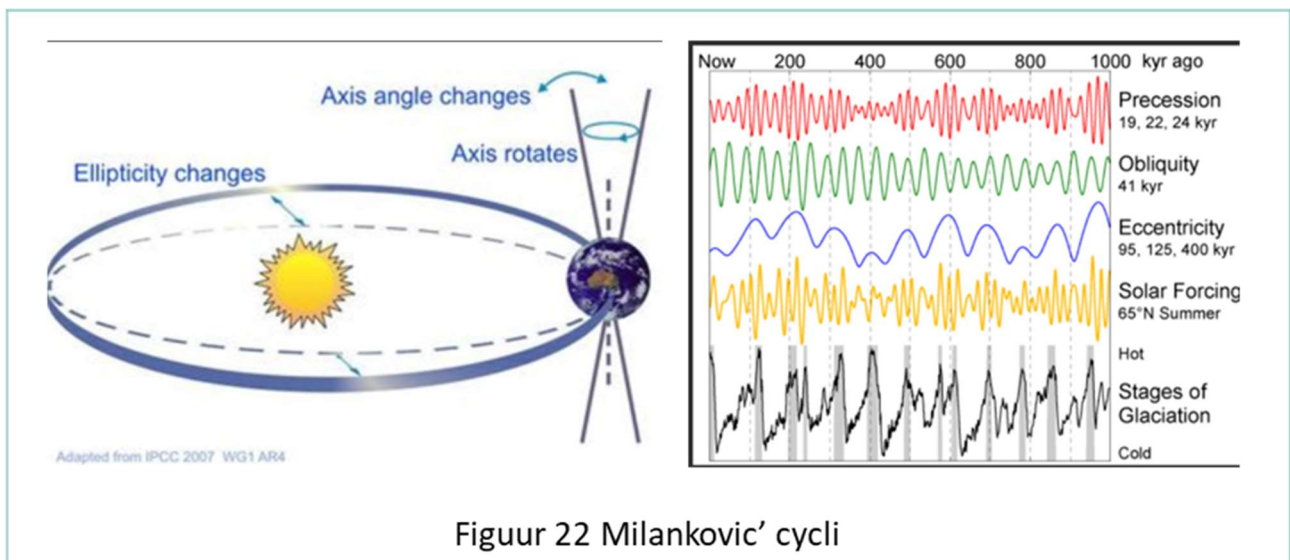
- Het afwisselend ovaal en cirkelvorming worden van de baan van de aarde om de zon (100.000 jaar);

- De schommeling van de aardas met twee graden (41.000 jaar);

- De tolbeweging die de aardas maakt (19.000 jaar).

De superpositie van deze veranderingen heeft effect op de temperaturen tijdens de seizoenen alsook op de dikte en uitgestrektheid van de ijskappen en gletsjers. De laatste echte ijstijd begon 45.000 jaar geleden en liep zo'n 12.000 jaar geleden ten einde. Door die cycli waren er tijdens de vorige ijstijd warmere periodes, net als er tijdens de huidige warme periode afwisselend nog warmere episodes (500 jaar geleden) en koudere episodes (bijv. tussen 1700 en 1850)^{xiv} worden waargenomen.

Op basis van deze cycli beweren sommige klimatologen dat we ons niet druk moeten maken over de opwarming van de aarde want over 5.000 jaar komt er sowieso een nieuwe ijstijd aan en koelt alles behoorlijk af^{xv}.



https://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles - [Milankovitch \(Orbital\) Cycles and Their Role in Earth's Climate - Climate Change: Vital Signs of the Planet \(nasa.gov\)](https://climate.nasa.gov/evidence/details/milankovitch-cycles/)

Samenvattend over de aarde

Op aarde is het klimaat een alles overkoepelende parameter die aangeeft hoe het gesteld is met de toestand van ons ruimteschip. Dat klimaat wordt sterk bepaald door de CO₂-concentratie, als het ware de thermostaat van de atmosfeer. Die CO₂-concentratie is de resultante van veel verschillende en complex op elkaar ingrijpende kringlopen waarvan het evenwicht aangestuurd wordt door warmtebalansen

Permanente warmte van de zon in een veld van continu oplopende entropie;

Weerkaatste warmte naar de ruimte bijv. door ijs of waterdamp;

Vastgehouden warmte op aarde, in de grond, in bio materiaal, in oceanen en rivieren;

Warmte vanuit de binnenkant van de aarde;

Vastgehouden warmte in de atmosfeer volgens de concentratie van broeikasgassen als CO₂ en methaan die

de mens in de atmosfeer brengt via o.a. verbranding, chemische processen of veeteelt;

door de golfstroom meegesleurd worden naar de zeebodem

in oceanen, aardbodem, planten... opgeslagen worden;

Positie in de Milankovic cycli.

Klimaat was voortdurend in beweging, is dat vandaag nog en zal dat altijd blijven!

“Het gat in de Ozon”: Deel 1 De Ontdekking

Inleiding

De manier waarop het “Gat in de Ozonlaag” ontdekt en uiteindelijk verkleind werd, is een typisch voorbeeld van hoe een wereldwijd en complex probleem als klimaatopwarming kan aangepakt worden. Verspreid over de volgende hoofdstukken wordt deze case studie in vier delen verteld met nadruk op de invloed die burgers én politici hebben op aanpak en uitvoering

1. De ontdekking
2. De reacties
3. De aanpak voor de bestrijding van het gat.
4. Tot slot: mogelijke lessen voor de aanpak van klimaatopwarming.

Ozon maakt leven op aarde mogelijk

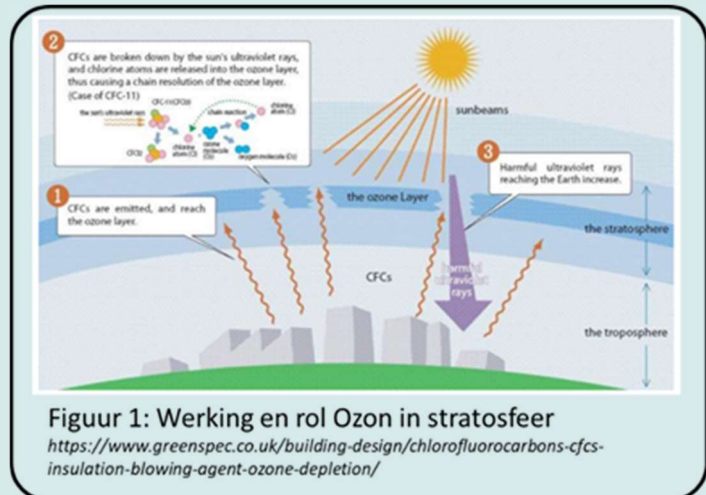
In 1840 stelde Christian Schönbein (1799 - 1868) vast dat de typische geur in de natuur na bliksemschichten voortkwam uit een speciale samenstelling van zuurstof, nl. O_3 i.p.v. de gewone O_2 . Hij noemde dit “Ozein” naar het Grieks woord voor ruiken. Het leek een onschuldig reukloos en lichtblauw gas ergens hoog in de atmosfeer.

In 1913 stelden Charles Fabry (1867 - 1945) en Henri Buissons (1873 - 1944) echter vast dat Ozon een laag vormt die zich tussen de 15 en 50 km hoog in de stratosfeer bevindt en die ons beschermt tegen UV-B licht uit de ruimte. Dit is licht met een golflengte van 280 tot 320 nm. Zonder die bescherming zou alle plantaardig en dierlijk leven op aarde onmogelijk zijn.

Door deze ontdekking werd al tussen 1928 en 1958 de hoeveelheid Ozon systematisch gemeten. Daaruit bleek dat hoog in de koude atmosfeer O_2 door UV-licht wordt opgesplitst in twee zuurstofradicalen die dan tot Ozon of O_3 samensmelten. De concentratie is in de grootteorde van 3 Ozonmoleculen per 10 Miljoen zuurstofmoleculen.

Een probleem

De eerste generatie koelsystemen maakte gebruik van giftige gassen. Dat leidde tot veel ongemakken en zelfs doden. Rond 1930 werden deze gassen vervangen door CFK's (Chloorfluorkoolstof-verbindingen). Op het eerste gezicht onschuldige gassen die door hun laag kookpunt enkel voordelen boden. Naast koelsystemen, werden ze ook gebruikt als aandrijfgas in spuitbussen, voor vulschuim en in sommige plastics. Constructeurs van koelsystemen en automobielbedrijven waren de grootste afnemers.



In 1973 onderzochten Frank Rowland (1927 - 2012) en Mario Molina (1943 - 2020) aan de University of California (Irvine) wat er met die gassen gebeurde. Ze deden dat als praktische toepassing van de ideeën van de Nederlander Paul Crutzen (1933 - 2021) over de impact van stikstofdioxide op de Ozonlaag. Daarbij stelden ze vast dat die inerte gassen bleven bestaan en zich waarschijnlijk in de hoge atmosfeer ophoopten. Met de meetapparatuur van James Locklove (1919) - de godfather van het Gaia-denken - keken ze vanop aarde wat er gebeurt. Ze concludeerden dat het Chloorgas (Cl) met Ozon (O₃) reageert en Chlooroxide (ClO) en Zuurstof (O₂) vormt. Twee Chlooroxides verbinden dan tot het stabiele Chloorperoxide (Cl₂O₂). Probleem hierbij is dat er Ozon verdwijnt!

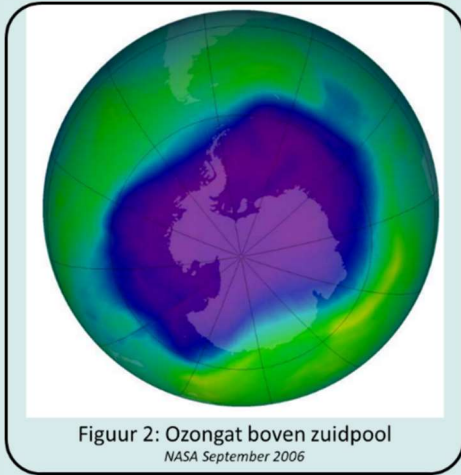
Realiteit

Hun publicaties werden bevestigd door de NASA. Via hun satellieten keken ze vanuit de ruimte naar de aarde en constateerden inderdaad dat de Ozonlaag rond de Zuidpool zéér verdund was. Om zeker te zijn, deed NASA metingen met een vliegtuig op 18 km hoogte, waar de koude temperaturen bijna nefast waren voor de piloten en de kerosine dreigde te bevriezen. De metingen bevestigden de verminderde Ozonconcentratie boven de Zuidpool.

Er was een "Gat in de Ozonlaag" of een "Ozongat" ontdekt! Ook al gaat het in werkelijkheid om een gebied in de stratosfeer waar de concentratie aan Ozon lager ligt dan in de rest van die stratosfeer.

In 1985 werd de jonge medewerker Jonathan Shaklin (1953) van het Cambridge British Antarctic Survey instituut opgedragen om de data uit metingen van de voorbije jaren te analyseren. Hij kwam tot de wetenschappelijke en statistische vaststelling dat de Ozonlaag boven de Zuidpool afneemt en dat die afname altijd versnelt rond de lente. Waarom?

Het hele Ozongebieden wordt in de Cambridge labo's nagebootst. Dit onderzoek leert dat de Ozonlaag boven de Zuidpool meer wordt aangetast omdat deze ijskap omringd is door oceanen. Daardoor stijgt de lucht sneller en koelt die af tot -80°C . De CFK's in de lucht hechten zich op de ijsmoleculen en worden door UV licht gesplitst. Dit verklaart de gemeten seizoenseffecten.



Figuur 2: Ozongat boven zuidpool
NASA September 2006

In 1989 werden gelijkaardige effecten in de Ozonlaag boven de Noordpool vastgesteld, zij het in mindere mate. De ijskap wordt daar omringd door land waardoor de effecten van de wind kleiner zijn. Onder de strenge lentecondities van 1995 werd het Ozongat aan de Noordpool voorspeld én gemeten.

Ondertussen breidde het gat in de Ozon steeds maar uit. In September 2006 was het zo groot als de oppervlakte van Rusland. Het werd duidelijk dat als er niets gebeurde de Ozonlaag tegen 2065 zal verdund zijn tot één derde van haar oorspronkelijke concentratie. Met drastische gevolgen voor alle leven op aarde.

In 1995 kregen Crutzen, Rowland en Molina de Nobelprijs voor de Chemie voor hun wetenschappelijk werk en doorzettingsvermogen rond dit "Gat in de Ozonlaag".

Ontzag voor ruimteschip aarde

Van de kosmos tot de atoomkernen is het één continue stroom van energie en van in elkaar grijpende kringlopen met behoud van materie. Dat continuüm kunnen we enkel begrijpen door alle elementen die op elkaar ingrijpen te beschrijven als subsystemen met feedback- en feed forward-relaties. Het is complex, korrelig en verandert in sprongen. Meten en beschrijven neemt tijd, beïnvloedt de werkelijkheid en gebeurt vanuit een bepaalde invalshoek of met een bepaalde doelstelling. Daarom is het subjectief en onvolledig.

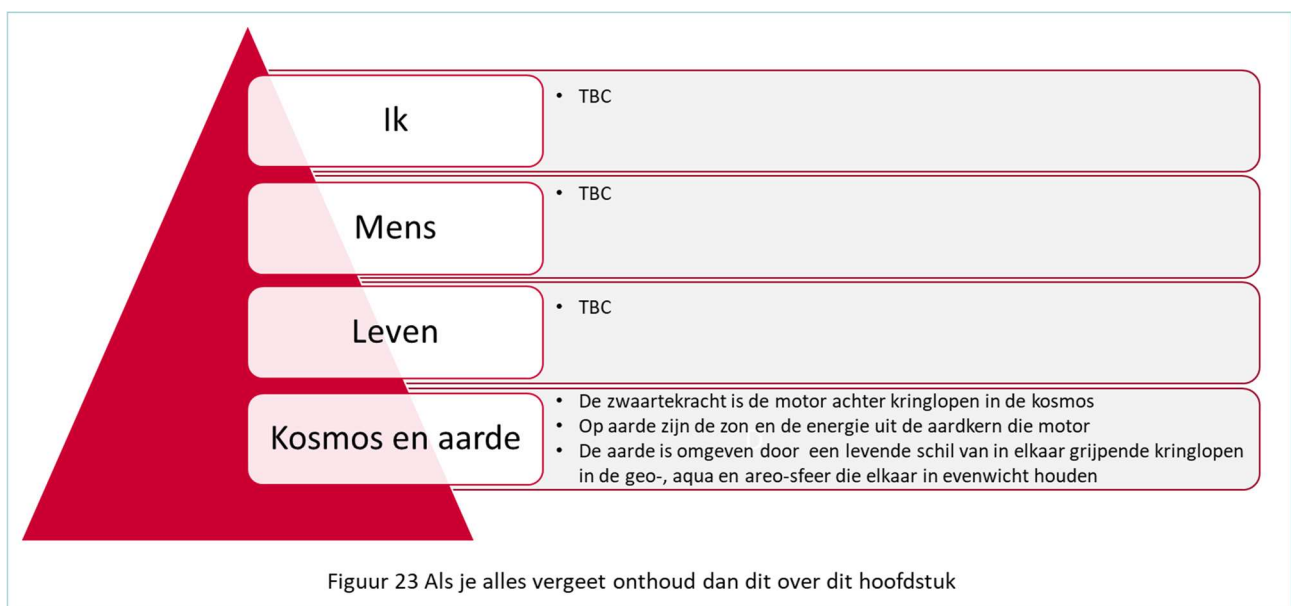
De aarde reist als een ruimteschip in de kosmos. De atmosfeer rond onze planeet filtert elektromagnetische stralingen en houdt warmte vast.

Op aarde bestaat de ruimte tussen de atmosferische tropopauze en pakweg een paar km onder de aard- en oceaانبodem uit kringlopen van gesteentes, lucht, water en biomaterialen die voortdurend op elkaar ingrijpen en waarvan we de verbanden en effecten maar ten dele begrijpen. Die ruimte "leeft" en wordt in leven gehouden door de energie van de zon en vanuit de aardkern. Het slechte nieuws is dat als er ergens in één kringloop een probleem ontstaat het probleem ook andere kringlopen beïnvloedt. Het omgekeerde is ook waar! Elke oplossing voor één kringloop heeft positieve effecten op andere.

Systeemmodellen van die kringlopen en hun effect op het klimaat zijn vereenvoudigingen en onze aannames zijn nog steeds ontoereikend om veranderingen in de kringlopen te sturen. We hebben maar een beperkt zicht op mogelijke niet-lineariteiten.

Klinkt dit complex? De wereld is nu eenmaal complex en wordt steeds complexer. Dat is het gevolg van het voortdurend op weg zijn naar evenwicht (= uitdoven van onevenwicht) bij complete chaos en maximale entropie.

Het inzicht dat de aarde ons ruimteschip is dat rondtoelt in een zonnestelsel waarin we enigszins beschermd zijn tegen de gevaren van het heelal en alles in delicate onevenwichten bij elkaar houdt, maant ons aan om voorzichtig te zijn en het ruimteschip in goede conditie door te geven aan volgende generaties. Te beginnen met onze eigen kinderen, kleinkinderen en achterkleinkinderen die we, als alles goed is, tijdens ons leven leren kennen.



Hoe meer we over het levend organisme aarde weten, hoe beter we het begrijpen en ermee kunnen sympathiseren, koesteren, verzorgen en met respect voor ons laten werken. In volgend hoofdstuk focussen we op de tweede laag van het wereldbeeld, nl. de relaties tussen de hier besproken kringlopen en het ontstaan en de evolutie van leven met o.a. de mens.

NAAR JE WERKBOEK

NA HET LEZEN VAN DIT HOOFDSTUK KAN JE HET WERKBOEK UIT HOOFDSTUK 7 BIJ ACTIE 1 "OPBOUW EIGEN WERELDBEELD" EN OP WERKBLAD 1 IN JE EIGEN WOORDEN BESCHRIJVEN WELK EFFECT DE KOSMOS EN DE KRINGLOPEN OP AARDE HEBBEN.

ZO FORMULEER JE DE EERSTE LAAG VAN EEN EIGEN WERELDBEELD.

-
- ⁱ Carlo Rovelli, 2021, p22, “Helgoland, Het verhaal van de kwantumfysica, de ingrijpendste wetenschappelijke revolutie aller tijden”, Prometheus, Amsterdam
- ⁱⁱ Brian Greene, 2020, p 44, “Tot het einde der tijden. De zoektocht naar de reden van ons bestaan in een nieuwe wereld”, Spectrum, Amsterdam
- ⁱⁱⁱ Brian Greene, 2020, p 47, “Tot het einde der tijden. De zoektocht naar de reden van ons bestaan in een nieuwe wereld”, Spectrum, Amsterdam
- ^{iv} <https://www.nationalgeographic.nl/wetenschap/2017/05/einsteins-relativiteitstheorie-in-vier-eenvoudige-stappen> en http://hermes.ffn.ub.es/luisnavarro/nuevo_maletin/Einstein_1905_relativity.pdf
- ^v Brian Greene, 2005, p61, “De ontrafeling van de kosmos, over de zoektocht naar de theorie van alles”, Spectrum, Hoofddorp
- ^{vi} Brian Greene, 2005, p84, “De ontrafeling van de kosmos, over de zoektocht naar de theorie van alles”, Spectrum, Hoofddorp
- ^{vii} Carlo Rovelli, 2021, p26, “Helgoland, Het verhaal van de kwantumfysica, de ingrijpendste wetenschappelijke revolutie aller tijden”, Prometheus, Amsterdam
- ^{viii} Carlo Rovelli, 2021, p137-p138, “Helgoland, Het verhaal van de kwantumfysica, de ingrijpendste wetenschappelijke revolutie aller tijden”, Prometheus, Amsterdam
- ^{ix} Carlo Rovelli, 2021, p82 - 94, “Helgoland, Het verhaal van de kwantumfysica, de ingrijpendste wetenschappelijke revolutie aller tijden”, Prometheus, Amsterdam
- ^x <https://nieuws.kuleuven.be/nl/2014/georges-lemaitre-tussen-god-en-de-sterren>
- ^{xi} Brian Greene, 2005, P 255, “De ontrafeling van de kosmos, over de zoektocht naar de theorie van alles”, Spectrum, Hoofddorp
- ^{xii} Dirk Vanwalle, 2020, P34, Wie niet naar de sterren kijkt... zal nooit de aarde zien, Een evolutionaire kijk op de kosmos van morgen”, werkgroep “levenslang leren”, Kortrijk
- ^{xiii} Brian Greene, 2005, P 255 – P300, “De ontrafeling van de kosmos, over de zoektocht naar de theorie van alles”, Spectrum, Hoofddorp
- ^{xiv} Dirk Vanwalle, 2020, P353 - P 357, Wie niet naar de sterren kijkt... zal nooit de aarde zien, Een evolutionaire kijk op de kosmos van morgen”, werkgroep “levenslang leren”, Kortrijk
- ^{xv} Brian Greene, 2020, P83, “Tot het einde der tijden. De zoektocht naar de reden van ons bestaan in een nieuwe wereld”, Spectrum, Amsterdam
- ^{xvi} https://www.bigbangroute.be/pages/nl_BE/lemaitre_premonstreit
- ^{xvii} Stephen Hawking, 2018, P 92 – P93, “De Antwoorden op de Grote Vragen”, Het Spectrum, Hoofddorp
- ^{xviii} Dirk Vanwalle, 2020, P112 - P 114, Wie niet naar de sterren kijkt... zal nooit de aarde zien, Een evolutionaire kijk op de kosmos van morgen”, werkgroep “levenslang leren”, Kortrijk
- ^{xix} <https://www.spacepage.be/nieuws/ruimtevaart/lanceringen/james-webb-space-telescope-is-klaar-voor-zijn-lancering> en [Gallery: James Webb Space Telescope \(nasa.gov\)](https://www.nasa.gov/gallery/james-webb-space-telescope)
- ^{xx} https://www.researchgate.net/publication/338897243_ESA's_next-generation_gravity_mission_concepts
- ^{xxi} https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/news/data-turned-into-sounds-of-stars-galaxies-black-holes.html en https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/news/data-sonification-a-new-cosmic-triad-of-sound.html
- ^{xxii} Stephen Hawking, 2018, P 80 – P95, “De Antwoorden op de Grote Vragen”, Het Spectrum, Hoofddorp
- ^{xxiii} Amanda Gefter, 2014, P78 – P85, 3In Einsteins Achtertuin, Een duizelingwekkende toer langs de mooiste ideeën uit de natuurkunde”, Maven Publishing B.V., Amsterdam
- ^{xxiv} <https://www.quantamagazine.org/crisis-in-particle-physics-forces-a-rethink-of-what-is-natural-20220301/>
- ^{xxv} Amanda Gefter, 2014, P22 – P25, 3In Einsteins Achtertuin, Een duizelingwekkende toer langs de mooiste ideeën uit de natuurkunde”, Maven Publishing B.V., Amsterdam
- ^{xxvi} Brian Greene, 2005, P 276 – P277, “De ontrafeling van de kosmos, over de zoektocht naar de theorie van alles”, Spectrum,

Hoofddorp

- xxvii Carlo Rovelli, 2021, p140-p151, “Helgoland, Het verhaal van de kwantumfysica, de ingrijpendste wetenschappelijke revolutie aller tijden”, Prometheus, Amsterdam
- xxviii Brian Greene, 2020, P68 – P75, “Tot het einde der tijden. De zoektocht naar de reden van ons bestaan in een nieuwe wereld”, Spectrum, Amsterdam
- xxix Brian Greene, 2020, P84, “Tot het einde der tijden. De zoektocht naar de reden van ons bestaan in een nieuwe wereld”, Spectrum, Amsterdam
- xxx [Tiny Galaxies Reveal Secrets of Supermassive Black Holes | Quanta Magazine](#)
- xxxi [Een geüpdatete atlas van de Melkweg | De Standaard](#) en [Dit is hem: de nieuwe 3D-kaart van de Melkweg | NOS](#)
- xxxii <https://www.kijkmagazine.nl/space/waarom-is-het-s-nachts-donker/#:~:text=Door%20die%20uitdijning%20is%20het,hets%20's%20nachts%20extra%20donker.>
- xxxiii [Het zwarte gat in het hart van de Melkweg staat nu ook op de foto | De Standaard](#)
- xxxiv Urania, 2021, website van volkssterrenwacht Urania
- xxxv Brian Greene, 2020, P 284 - P 311, “Tot het einde der tijden. De zoektocht naar de reden van ons bestaan in een nieuwe wereld”, Spectrum, Amsterdam
- xxxvi [https://nl.wikipedia.org/wiki/Pluto_\(dwerfplaneet\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Pluto_(dwerfplaneet)) en <https://scientias.nl/maak-kennis-planeet-y-zonnestelsel-telt-misschien-tien-planeten/>
- xxxvii Neil Shubin, 2013, P 47-49, “Het heelal in ons, de gemeenschappelijke geschiedenis van stenen, planeten en mensen”, NwA'DAM
- xxxviii “Pale Blue Dot”, foto gemaakt door de NASA ruimtesonde Voyager 1 op 14 februari 1990
<https://www.thetimes.co.uk/article/pale-blue-dot-30-years-on-how-voyagers-shot-in-the-dark-made-history-mv3gwxwbk>
- “Pale Blue Dot”, foto gemaakt door de NASA ruimtesonde Voyager 1 op 14 februari 1990
<https://www.thetimes.co.uk/article/pale-blue-dot-30-years-on-how-voyagers-shot-in-the-dark-made-history-mv3gwxwbk>
- xxxix Rebecca Boyle, [How Are Planets Made? New Theories Are Taking Shape. | Quanta Magazine](#)
- xl Eos, 2009, Planeten op drift, https://allesoversterrenkunde.nl!/actueel/artikelen/_detail/gli/planeten-op-drift/
- xli Seth Jacobson, 2022, [Early Solar System instability triggered by dispersal of the gaseous disk | Nature](#), www.nature.com
- xlii <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/waar-komt-de-maan-vandaan/>
- xliii Neil Shubin, 2013, P 68, “Het heelal in ons, de gemeenschappelijke geschiedenis van stenen, planeten en mensen”, NwA'DAM
- xliv Geochemical Perspectives, Letters, 2021, <http://www.geochemicalperspectivesletters.org/article2114/>
- xlv Neil Shubin, 2013, p58-59, “Het heelal in ons, de gemeenschappelijke geschiedenis van stenen, planeten en mensen”, NwA'DAM
- xlvi “Earthrise”; foto gemaakt door astronaut William Anders op 24 december 1968 tijdens de NASA Apollo 8 missie
https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Reflecting_on_Earthrise_50_years_on
- xlvii <https://www.spacepage.be/artikelen/het-zonnestelsel/de-planeten/de-aarde/de-aardatmosfeer>
- xlviii Verslag van de Club van Rome (opgericht in 1968): “Grenzen aan de groei”, 1972,
- xlix https://en.wikipedia.org/wiki/Earth_system_science
- i “Thinking in Systems”, P2, 2008, Donella Meadows, earthscan
- ii P. Westbroek, 2012, “Earth System Science” 2012, naar “De Ontdekking van de Aarde, een groot verhaal van een kleine planeet”, , Balans Amsterdam
- iii Neil Shubin, 2013, P174 - 178, “Het heelal in ons, de gemeenschappelijke geschiedenis van stenen, planeten en mensen”, NwA'DAM
- liii Samual Helsen, EOS, en Drik Draulans, Knack, https://www.eoswetenschap.eu/natuur-milieu/hoe-de-straalstroom-ons-weer-beinvloedt?gclid=CjwKCAjwmK6lBhBqEiwAocMc8unwxFFil8QaY6cnbt-Tbp2iNj5i9z4F1MZt8cLbIW9f6Et8PqYSXoCj6UQAvD_BwE en [Roularta Media Group \(knack.be\)](#), jaargang 51, Nr 31 Pagina 46

-
- liv KNMI, <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/warme-golfstroom>
- lv Weer.nl, <https://www.weer.nl/nieuws/2021/kan-de-warme-golfstroom-nog-wel-stilvallen>
- lvi <https://www.britannica.com/technology/Haber-Bosch-process>
- lvii [World Population Prospects 2022: Summary of Results | Population Division \(un.org\)](#)
- lviii IPCC newsroom, <https://www.weforest.org/newsroom/>
- lix Johan Rockström, <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>
- lx Natura2000 richtlijnen EU, https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/faq_nl.htm
- lxi De Standaard, februari 2022, [stikstofgate - De Standaard](#)
- lxii [Natura 2000 - Environment - European Commission \(europa.eu\)](#)
- lxiii <https://decorrespondent.nl/11643/we-hebben-geen-idee-wat-er-in-de-diepzee-leeft-en-toch-is-het-daar-straks-een-industriegebied/4237930575153-830f2649>
- lxiv Neil Shubin, 2013, P196 - 210, "Het heelal in ons, de gemeenschappelijke geschiedenis van stenen, planeten en mensen", NwA'DAM
- lxv https://wet.kuleuven.be/wetenschapinbreedbeeld/lesmateriaal_geologie/ijstijden_cycli