Planeet Aarde bewoonbaar dank zij 'goede' temperatuur

door Wim de Vries

Enkele gedachten, uitgesproken tijdens de GEA-Stafdag op 4 februari 2006 te Leusden.



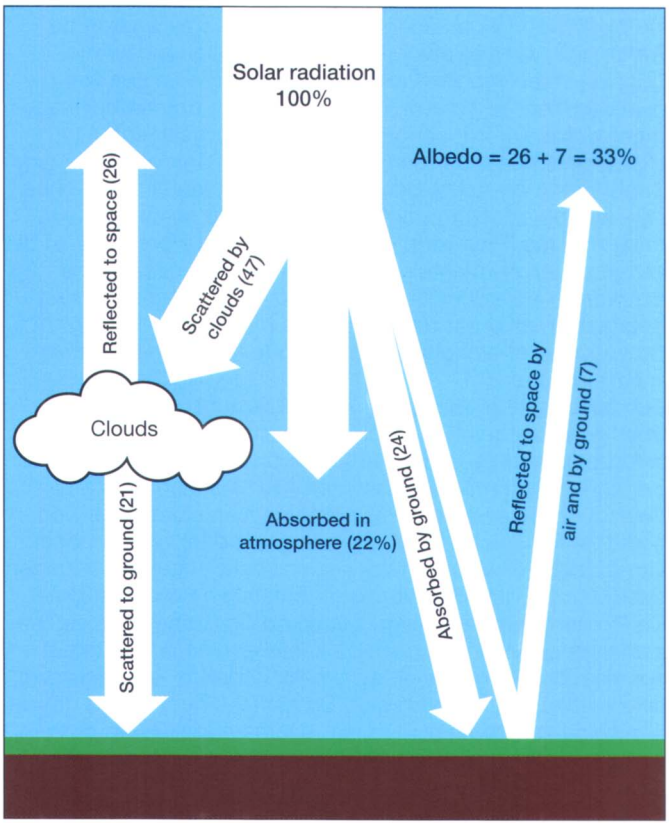
Afb. 1. De aarde 'komt op' boven de horizon van de maan. Deze foto is genomen tijdens de vlucht van de Apollo-11 in juli 1969. (Bron: Nasa).

Rond 30 jaar geleden werd een wereldschokkende foto gepubliceerd van de aardbol, genomen vanaf de maan. Voor de eerste keer zagen wij onszelf, onze ronde aardbol met zijn unieke blauwe kleur en witte vlekken van de wolken, die getuigen van de aanwezigheid van vloeibaar water en van de waterdamp in de atmosfeer. Het bezit van vloeibaar water is een van de typerende punten voor de Aarde; door haar gehele geologische geschiedenis is het overgrote deel van het water vloeibaar geweest. Dit is echter bepaald geen vanzelfsprekende zaak (afb. 1).

Het enige argument dat vaak wordt gehoord is dat de gunstige temperatuur op Aarde te danken is aan de 'goede' afstand tot de zon. De plaats rond de positie van de Aarde in het zonnestelsel heeft echter een veel lagere temperatuur, waarschijnlijk ligt die rond het vriespunt. Maar de gemiddelde temperatuur op Aarde bedraagt op het ogenblik + 15°C en we kennen in de aardgeschiedenis vele en lange perioden met een nog veel hogere temperatuur, rond de 7 tot 10°C hoger!
Als we onze planeet, en dan alleen de stenen bal, laten verwarmen door de zonnestraling dan bedraagt de gemiddelde temperatuur van het aardopppervlak slechts + 5°C. Als we de aardbol bedekken met atmosfeer en water (de huidige atmosfeer wel te verstaan, met de eigenschappen van de huidige), dan komt lang niet alle zonnestraling ten goede aan de verwarming van het aardoppervlak: 26% van de invallende zonnestraling wordt direct teruggekaatst de ruimte in door ijs, sneeuw en wolken; daarnaast kaatst kaal landoppervlak nog eens 7% onmiddellijk terug (afb. 2).
Het totale percentage gereflecteerde straling van 33 wordt het *albedo* genoemd. Door deze reflectie wordt de hoeveelheid zonnestraling die ten goede komt aan het aardoppervlak verminderd. Hierdoor daalt de temperatuur op Aarde met 25°C! Het resultaat is dus een gemiddelde temperatuur op Aarde van 20°Celsius onder nul! (een kale Aarde, opgewarmd door de zon, had immers een temperatuur van + 5°C). Hier komt echter de atmosfeer te hulp: de atmosfeer wordt verwarmd door de infrarode warmtestraling die van het aardoppervlak opstijgt. Van de warmtestraling verdwijnt rond 20% onmiddellijk de ruimte in, maar de rest van de warmte die van het aardoppervlak terugkomt wordt geabsorbeerd door de atmosfeer, die daardoor extra verwarmd wordt. De warmtestraling van het aardoppervlak wordt opgenomen in de atmosfeer en als het ware met enige vertraging doorgegeven aan de ruimte (het broeikaseffect).

Broeikaseffect

Niet alle gassen in de atmosfeer dragen in dezelfde mate bij aan het broeikaseffect: hoe meer atomen een molecule bezit, hoe groter het effect is. De gassen die bestaan uit moleculen van twee atomen, zoals zuurstof en stikstof, worden nauwelijks opgewarmd. Water met zijn drie atomen per molecule is veruit de belangrijkste broeikasverbinding, die alleen al ruim 3/4 van het gehele broeikaseffect voor zijn rekening neemt.
Het geringe gehalte van CO_2 (0,034%) wordt echter als voornaamste 'schuldige' aangemerkt.
Veel sterkere broeikasgassen zijn ammoniak (vier atomen per molecule), methaan (CH_4) en de CFK's (chloor-fluor-koolwaterstoffen) met wel zes atomen per molecule.
Het resultaat is dat de atmosfeer en daarmee het aardoppervlak verwarmd worden tot de huidige gemiddelde temperatuur van (–20° tot) + 15°C. Het huidige broeikaseffect bedraagt 35°C en is dus vooral het werk van de atmosfeer.



Afb. 2. De atmosfeer heeft grote invloed op de hoeveelheid zonne-energie die ten goede komt aan de aarde.

Klimaatveranderingen zijn door de gehele aardgeschiedenis continu opgetreden. De Aarde bevindt zich op het ogenblik in een 'IJstijd', die een afwisseling van koude ('glaciale') en warmere ('interglaciale') perioden laat zien, waarbij de temperatuur varieert van respectievelijk 5°C lager dan heden tot 2°C hoger. Deze wisselingen worden voor een deel veroorzaakt door variaties in de baan van de Aarde om de zon en van de stand van de aardas, zij werden berekend door Milankovitch. Daarnaast is er een aantal andere variaties, die onder meer veroorzaakt worden door de tienjarige zonnecyclus en de duizendjarige cyclus die bekend is door het Middeleeuwse klimaatoptimum en de Kleine IJstijd; van deze koudeperiode, die eindigde in de loop van de 19de eeuw, is de Aarde zich nog maar net aan het herstellen.
Langdurige veranderingen worden veroorzaakt door Aardse processen: van enorm belang is de wijze waarop de warmte over de Aarde verdeeld wordt, vooral door de oceanen. Hierdoor zijn veel verschillen tussen een IJstijd-periode en die met een warm klimaat, zoals ten tijde van het Boven-Krijt en begin van het Tertiair, te verklaren.
De Aarde heeft, geholpen door het leven, in de loop van haar geschiedenis iets heel merkwaardigs voor elkaar gekregen: de verwijdering van de CO_2 uit de atmosfeer. De atmosfeer is veranderd van een vrijwel zuivere CO_2-atmosfeer van tientallen atmosferen druk ten tijde van de vorming van de Aarde tot die met de nietige hoeveelheid CO_2 van dit ogenblik. Het CO_2 is dus vrijwel van de Aarde verdwenen; er is een grote kans dat dit op geologisch gezien korte termijn (enkele tientallen miljoenen jaren?) desastreuze gevolgen zal hebben voor het leven.

Het leven op Aarde

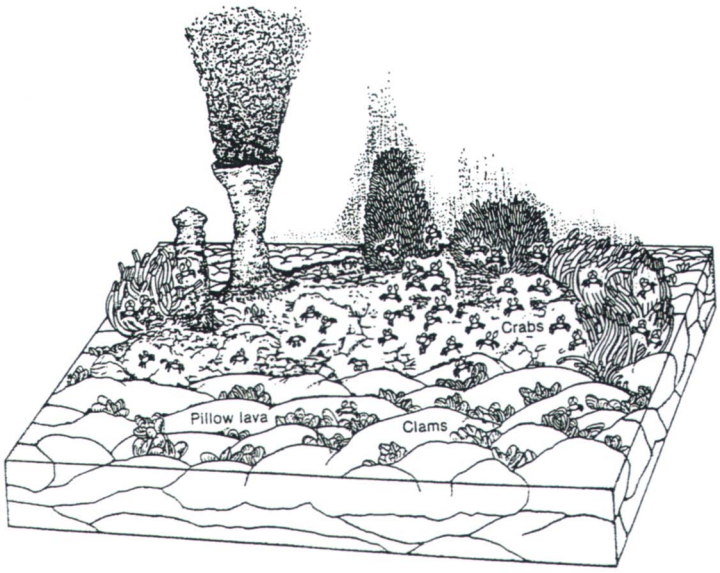
Het leven op Aarde is geen op zich zelf staand proces. Het is volledig afhankelijk van de Aarde. Het leven kon ontstaan doordat het zeewater zout is en voedingsstoffen bevat. Beide zijn het resultaat van aardse processen, te weten de verwering van de gesteenten van het land. Als het typerende aardse proces van verwering zou stoppen, dan zal het leven in een griezelig korte periode verdwijnen, mogelijk zelfs binnen enkele duizenden jaren.
Het leven op Aarde kan zich alleen maar handhaven als de Aarde continu en op snelle en effectieve wijze de materialen van aardkorst en mantel blijft recyclen. Dit kan alleen maar door het unieke 'levensproces' van de Aarde: de plaattektoniek. Er moet dus worden aangenomen, dat er op planeten die niet dynamisch zijn met een of andere vorm van plaattektoniek, het leven zich niet kan handhaven.
Aangenomen wordt dat het ontstaan van het leven vrij gemakkelijk kan gebeuren. In ieder geval zijn er van vele lichamen in ons zonnestelsel tientallen verbindingen bekend die bestaan uit koolstof, waterstof en stikstof – de 'basisingrediënten' van alle organische stoffen waaruit levende organismen zijn opgebouwd.
Er zijn echter voor het ontstaan van een levend organisme, wel specifieke gunstige omstandigheden noodzakelijk. Naast het vloeibare, zoute water met zijn opgeloste voedingsstoffen moet er een beschermde omgeving zijn waar veel energie aanwezig is voor het maken van grote organische moleculen, zoals eiwitten. Daarnaast mag er geen vrije zuurstof aanwezig zijn: zuurstof is een dodelijk gif voor organisch materiaal. Er was gelukkig de eerste 2,5 miljard jaar op Aarde geen zuurstofgas. Een harde noodzaak is een effectieve bescherming tegen UV-straling. In de tijd dat de atmosfeer geen zuurstof bevatte was er dus ook geen ozon, waardoor het aardoppervlak blootgesteld was aan een intens bombardement van ultraviolette straling, die het oppervlak effectief steriliseerde.

Black smoker

De gevormde grote organische moleculen dienen ergens langere tijd bewaard te worden, opdat uit een overmaat van een groot aantal verschillende organische stoffen een geschikte combinatie kan worden gekozen voor de vorming van een levend geheel.
De vaak genoemde 'oersoep', het warme poeltje met organische verbindingen aan de kust van de oceaan, is dus een onmogelijke plaats voor het ontstaan van het leven. Een geschikte plaats voor dit ontstaan op Aarde is tevens een van de meest onwaarschijnlijke plaatsen op Aarde. Het is



Afb. 3. Black smoker in actie op een berg van massieve sulfiden (Bron: Marine Geoscience Data System, http://www.marine-geo.org).



Afb. 4. Black smokers: extreme omstandigheden met een uitgebreide levensgemeenschap.

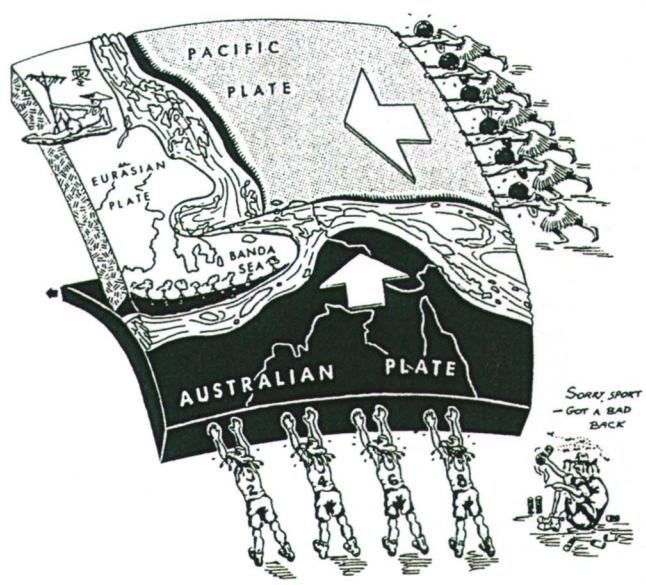
een levensomgeving die nog maar een paar decennia geleden werd ontdekt op een stikdonkere, ijskoude plaats, kilometers diep onder water, rond vulkanische bronnen op de oceaanbodem, die gloeiend heet water met vele giftige gassen uitbraken. Rond deze zogenoemde *black smokers* komt een uitgebreide levensgemeenschap voor die bestaat dank zij de activiteit van bacteriën, die hun energie halen uit de vulkanische gassen door chemosynthetische processen (afb. 3, 4).

Het ontstaan van het leven is te danken aan het unieke aardse proces: het proces van de plaattektoniek. Ook het feit dat het leven zich door de miljarden jaren op Aarde heeft kunnen handhaven is te danken aan de plaatbewegingen. Daarnaast heeft de Aarde een heel sterke invloed op de ontwikkeling van het leven. De evolutie wordt in belangrijke mate gestuurd door aardse processen.
De plaatbewegingen leiden tot sterke klimaatveranderingen: een groot continent als Pangea had een extreem klimaat met uitgestrekte woestijngebieden; op kleine continenten is de invloed van de zee groot en is het klimaat veel gelijkmatiger. Plaatbewegingen kunnen een continent in een vrij korte periode, bijvoorbeeld een paar miljoen jaar, van de tropen tot in de polaire gebieden brengen. Levensvormen kunnen de veranderingen een tijdje opvangen maar er zullen dan soorten plotseling verdwijnen als de omstandigheden te veel gaan afwijken. Een ander organisme, dat aangepast is aan de veranderde omstandigheden, zal dan deze opengevallen plaats, deze *niche* kunnen bezetten en zich daar sterk uitbreiden. Dit is een belangrijke oorzaak van snel veranderende leefgemeenschappen waarbij in de loop van de tijd de overgangsvormen tussen de verschillende soorten dus ontbreken.
Het algemeen ontbreken van overgangsvormen in de evolutie werd ook door Darwin opgemerkt; hij verklaarde dit verschijnsel door de onvolledigheid van de geologische gesteente-opeenvolgingen. Het mag duidelijk zijn dat het veelvuldig ontbreken van de geologische getuigenis precies ten tijde van de ontwikkeling van een overgangsvorm een veel te grote en volledig onwaarschijnlijke toevalligheid is.

De plaattektoniek

De plaattektoniek is van fundamenteel belang voor alle processen op Aarde: zij bepaalt de vorm en verdeling van land en zee, van plaats en type van vulkanen en aardbevingen, van het ontstaan van gebergten, van de continue productie en verwerking van een enorm aantal chemische bestanddelen, zowel die welke gebruikt worden in aardse processen als die welke voor het leven van levensbelang zijn. Zij maakt het leven op Aarde mogelijk. Zij stuurt klimaatveranderingen op Aarde en beïnvloedt daardoor in belangrijke mate het leven op Aarde.

De plaattektoniek is mogelijk dank zij de wijze waarop de Aarde haar warmte afvoert. De aardkorstplaten bewegen door warmteverschillen, een plaat beweegt van een warm naar een kouder gebied. In een strook van de aardbol waar meer warmte wordt aangevoerd zetten de gesteenten uit. Hierdoor ontstaat de rond 2,5 km hoge mid-oceanische rug. Zoals overal op Aarde beweegt materiaal van een hoge naar een lage plaats. Het hoogteverschil van de oceaanbodem, maar nog meer het rond 90 km grote hoogteverschil door de aangroei van de mantelgesteenten onder de oceanische aardkorst - waardoor de rond 100 km dikke lithosfeerplaat ontstaat - maakt dat de oceanische plaat de helling afglijdt. Dit vormt een belangrijke aandrijvende kracht, de *rug-duw-kracht* (afb. 5).
Een tweede, nog veel grotere aandrijfkracht wordt gevormd door de subducerende lithosfeer die op een groot deel van het subductietraject tot vele honderden graden kouder is dan de omringende mantelgesteenten. De 'valkracht' die daardoor ontstaat is van enorm belang en is in staat om bijvoorbeeld de Pacifische Plaat, die een groot deel van de bodem van de Stille Oceaan omvat, een snelheid te geven van tegen de 10 cm per jaar. Een voorwaar ontstellend grote snelheid. De lithosfeerplaat beweegt daarbij op de 'smeerlaag' van de asthenosfeer. Hier is tussen de kristallen van de peridotiet een heel dun laagje smelt aanwezig, zodat de kristallen over elkaar heen kunnen bewegen. De asthenosfeer maakt dat de beweging van de lithosfeerplaat onafhankelijk is van die van de onderliggende mantelgesteenten. De lithosfeer beweegt uit zichzelf.



Afb. 5. Indonesië wordt 'aangevallen' van verschillende kanten. De Australische plaat duwt naar het noorden, de Pacifische plaat beweegt naar het westen en en de Indische plaat (links van deze tekening) duwt weer naar het oosten.

Dit zijn enkele van de zeer belangwekkende ontwikkelingen in de geologie van de afgelopen decennia. De meeste van deze processen waren rond de 50 jaar geleden nog vrijwel onbekend en de argumenten voor deze theorieën werden soms te vuur en te zwaard bestreden. Tot op de dag van vandaag hebben nog niet alle professionele geologen alle bovengenoemde ontwikkelingen enthousiast geaccepteerd. Niettemin probeert GEA bekendheid te geven aan nieuwe theorieën als deze aan een niet-geologisch onderlegd publiek.