



Water en Leven

LEOBERT E.M. DE BOER
LOPIKERWEG 72A
2871 AW SCHOONHOVEN
LEMDEBOER@HETNET.NL

Over de allereerste oorsprong van het leven op aarde is de wetenschap het nog lang niet eens, en misschien zal dat ook altijd wel zo blijven. Waar geen enkele twijfel over bestaat, is dat water een cruciale rol heeft gespeeld bij het ontstaan en de ontwikkeling van het leven. Zonder (vloeibaar) water zou er geen leven zijn geweest en zonder de voortdurende aanwezigheid van water zou het leven nooit meer dan 3,5 miljard jaar aardgeschiedenis hebben kunnen “overleven”.

De totale massa van al het leven op aarde is uiterst miniem ten opzichte van de totale massa van onze planeet: éénmiljardste procent, een absoluut verwaarloosbare hoeveelheid! Toch heeft het leven een doorslaggevende rol gespeeld in de ontwikkeling van de Aarde. Dankzij water is de Aarde een “levende planeet”. Letterlijk: een planeet met leven. En figuurlijk: een planeet die “leeft”, voortdurend in beweging is en processen vertoont die we op “verstarde” planeten, zoals Mars en Mercurius, niet tegenkomen.



Water: van levensbelang!

Water heeft een aantal fysisch/chemische eigenschappen die het bijzonder geschikt maken voor het ontstaan en de ontwikkeling van leven. Zonder volledig te willen zijn, noemen we er een paar:

1. Warmteverdeling

Water heeft een hoge “soortelijke warmte” van 4,185 J/g/°C; dat is de hoeveelheid energie die nodig is om 1 gram water 1 °C op te warmen. Dat is 2 à 3 keer zo hoog als de soortelijke warmte van gesteenten. Omdat water een lager soortelijk gewicht heeft dan gesteenten is de soortelijke warmte per volume-eenheid (cm³) zelfs ca. 6 maal zo hoog. Zo komt het dat een steen in de volle zon veel sneller heet wordt dan een bakje water. Om dezelfde reden koelt een steen in de schaduw of 's nachts ook weer veel sneller af, terwijl het water langer warm blijft. In het dag/nacht-ritme, maar ook over de seizoenen gerekend, heeft water daardoor een veel minder grillig temperatuurverloop dan gesteenten.

Voor het leven is dat belangrijk, want alle chemische levensprocessen verlopen het best binnen een beperkt temperatuurbereik. Dat geldt op het niveau van de cel, maar ook op wereldwijde schaal. 70% van het huidige aardoppervlak bestaat uit oceanen. Die ontvangen dus 70% van de ingestraalde zonne-energie. Omdat het *albedo* (de reflectiviteit) van wateroppervlakken lager is dan dat van het gemiddelde landoppervlak, is dat getal zelfs 80% (d.w.z. in ieder geval bij de huidige verdeling van oceanen en continenten over de aardbol). Tel daarbij op dat water de opgenomen energie veel langer vasthoudt en dus een veel vlakker temperatuurcurve vertoont, en het zal duidelijk zijn dat water een dominerende rol speelt in de temperatuurbalans van de buitenste lagen van onze planeet. Bovendien: warm water is lichter dan koud water en blijft daarom in een betrekkelijk dunne laag aan het oppervlak “drijven”. Oceaanstromingen verdelen die warmte ook nog eens over de aarde. Niet alleen lokaal (op de voor het leven meest gunstige plekken), maar ook wereldwijd profiteert het leven dus van de bijzondere “warmte-bufferende” eigenschappen van water.

NB: natuurlijk kent de aarde perioden met zee-ijs aan de polen. Soms breidde dat zich zelfs uit tot op vrij lage breedtegraden (zie diverse andere bijdragen in deze WaterSpecial van G&H). Niettemin bleef de stabiliserende werking van water ook in die perioden in de gebieden met open oceanen behouden.

2. Verdeling van levensnoodzakelijke stoffen

Water heeft als vloeistof een lage viscositeit. Dat betekent dat water heel gemakkelijk stroomt en circuleert. Op kleine schaal (in en rond cellen en organismen) en op grote schaal (oceanenstromingen).

Water is een uitstekend oplosmiddel voor (vrijwel) alle levensnoodzakelijke stoffen (CO₂, O₂, vele minerale ionen, organische verbindingen etc.). Tezamen met de lage viscositeit (strokerigheid) maakt dat water tot een ideaal transportmiddel voor levensstoffen. Alweer: op micro- en macroschaal, terwijl water dankzij deze eigenschappen ook nog eens zorgt voor een sterke interactie met de atmosfeer en de lithosfeer door het oplossen en transporteren van mineralen en gassen.

Een van de uitzonderingen op de goede oplosbaarheid in water vormen de vetten: ze lossen niet in water op, en ook die eigenschap van water is essentieel voor de levende cel, want door middel van een uit vetzuren bestaande membraan kan de cel zijn inwendige afsluiten van de buitenwereld. Zo profiteert hij inwendig van alle voordelen van water en kan hij er tegelijkertijd voor zorgen dat diezelfde watereigenschappen hem van buitenaf niet beroven van allerlei noodzakelijke (opgeloste) stoffen.

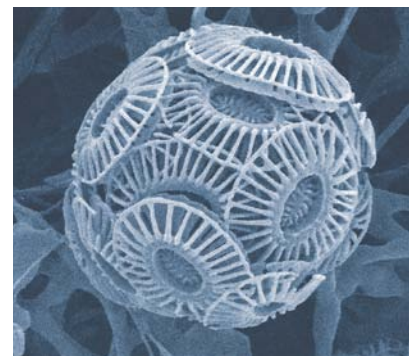
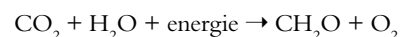
3. Water als bouw- en brandstof

Er wordt wel eens gezegd dat wij mensen voor meer dan 90% uit water bestaan. Dat dit niet klopt, kun je gemakkelijk uitrekenen: alleen al ons skelet (dat voornamelijk bestaat uit CaCO₃) neemt ca. 15% van ons gewicht in beslag. Toch zit er veel waarheid in dit gezegde: het watergehalte wisselt per type organisme van

60% (planten, dieren met zware inwendige of uitwendige skeletten of ondersteunende weefsels) tot maar liefst 99% (organismen zonder skelet of ondersteunende weefsels). Levende organismen met minder dan 60% water bestaan simpelweg niet!

Veruit het grootste deel van het in levende cellen/organismen aanwezige water vervult de rol van inwendig oplos- en transportmiddel. Een kleiner, maar zeker niet minder belangrijk deel, vormt onderdelen van de chemische bouwstenen waaruit elk organisme bestaat. Er is vrijwel geen organisch/chemische levensreactie te bedenken waarbij H₂O geen rol speelt, of waarbij de H, de O of de OH niet wordt ingebouwd in een resulterend organisch molecuul. Water is dus een belangrijke bouwsteen van alle levende organismen.

Nog fundamenteeler: naast CO₂ is water de tweede basisstof bij de fotosynthese:



Niet alleen schelpen, koralen en gewervelde dieren, maar ook eencellige organismen kunnen een kalkskelet hebben. Coccolieten maken in hun cel karrewiel-achtige kalkkringetjes en stoten die naar buiten uit, ter bescherming van hun buitenmembraan. De kalkkringetjes van dode Coccolieten zakken naar de oceaانبodem, en vormen daar in de loop van miljoenen jaren enorme kalkpakketten.

Daarbij worden CO₂ en H₂O gesplitst, om CH₂O als basis voor alle andere levensnoodzakelijke koolwaterstoffen, te vormen. Bij deze reactie komt O₂ (moleculair zuurstof) vrij als “afvalproduct”. Organismen die op deze manier zelf in hun voeding en energie kunnen voorzien, worden (foto)autotroof



genoemd. *Autotroof* betekent: “zelf-voedend”. Sinds ca. 3,5 miljard jaar geleden (toen de eerste *foto-autotrofe cyanobacteriën* [= “blauwalgen”] ontstonden, tot en met de dag van vandaag (met o.a. 100 m hoge woudreuzen) is de fotosynthese de “motor” geweest van vrijwel al het leven op aarde. Alle *heterotrofe* organismen (van rottingsbacteriën tot en met de tijger en de mens) kunnen niet zelfstandig leven van anorganische stoffen. Ze zijn afhankelijk van de door de *heterotrofen* opgebouwde organische materie, die ze opeten, verteren en verbranden, via de “omgekeerde reactie”:

Organische stof (van autotrofen)
 $+ O_2 \rightarrow \text{energie} + CO_2 + H_2O$

Toch kon het vroegste leven op aarde zijn energie niet via fotosynthese en splitsing van CO_2 en H_2O betrekken. Aanvankelijk trad er vrijwel geen zonlicht door tot op het oppervlak, vanwege de zeer dichte, vroege atmosfeer. Vrijwel zeker ontstond het eerste leven in de vorm van *chemo-autotrofe* organismen, die hun energie ontleenden aan chemische reacties tussen CO_2 en anorganische stoffen zoals S, H_2S , FeS e.d. Maar ook bij die reacties speelde water altijd een rol, als component in de reactievergelijking, of op zijn minst als oplosmiddel waarin de reactie plaatsvond.

NB: de *chemo-autotrofe* bacteriën zijn na de opkomst van de succesvolle fotosynthese nooit geheel van het aardse toneel verdwenen. In allerlei uithoeken, vaak met extreme omstandigheden, leven nog steeds diverse groepen van dit soort organismen (vaak *extremofielen* genoemd).

Al met al is er maar één conclusie mogelijk: water speelde, en speelt nog steeds in alle mogelijke fysisch-chemische opzichten een zó belangrijke rol voor het leven, dat leven zonder water ondenkbaar is.

De Biosfeer

In het huidige denken over de *Earth System Sciences* (zie de inleiding van deze WaterSpecial van G&H) bestaat de aarde uit een reeks – keurig op soortelijk gewicht gerangschikte – bolvormige, concentrische schillen, ofwel “sferen”. Van binnen naar buiten: de aardkern, de mantel, de lithosfeer (elk met hun onderverdelingen), de hydrosfeer en de atmosfeer. Misschien



Cyanobacteriën (“blauwalgen”) waren de vroegste fotosynthetiserende organismen op aarde. Ook nu nog leven in ondiepe tropische baaien cyanobacteriën die kolonies vormen: de “stromatiolieten”. Bij eb staan ze droog (onder), bij vloed staan ze net onder water (boven). Foto’s: Piet Vierbergen (Lake Clifton, Shark Bay).

was de hydrosfeer heel in het begin van de aardgeschiedenis planeet-omvattend (zie de bijdrage over “Oorsprong en verdeling van water op Aarde” in dit nummer op pagina 118). Als dat al het geval was, was dat maar tijdelijk, want vulkanisme en beginnende platentektonische processen zorgden al heel vroeg voor een “scheiding tussen water en land” (oceanen en continenten): de continentale korst begon her en der boven water uit te steken en groeide sindsdien in oppervlak, totdat de huidige 70%/30%-verdeling werd bereikt. De hydrosfeer heeft dus al lang geen perfecte bolvorm meer.

Hoewel de hydrosfeer dus in strikte zin (qua oppervlak) kleiner werd, breidde de “biosfeer” (= het domein van het leven op aarde) zich gaandeweg uit, zowel in horizontale als in verticale zin. In het licht van al het voorgaande leidt het geen twijfel dat het eerste leven op aarde in het water ontstond. Waarschijnlijk op de grensvlakken van de wereldoceaan met de eerste continentale gesteenten; daar waar de interactie tussen hydrosfeer, lithosfeer (vulkanisme) en atmosfeer het grootst was, en dus zorgde voor intensieve uitwisseling van gassen en mineralen. De vroege biosfeer was dus gebonden aan de “marges” tussen water en land.





Zowel het leven in het water (boven: koraalrif) als op het land (onder: tropisch regenwoud) ontwikkelde in de loop der tijd een enorme biodiversiteit. Vooral dankzij het uitbundige zonlicht boven land groeide de hoeveelheid biomassa daar uit tot ver boven die in de oceanen.

Naarmate het bacteriële leven zich verder specialiseerde en ontwikkelde drong het echter door tot in diepere delen van de oceanen en tot in gebieden met minder gunstige omstandigheden.

Een oeroude stelling in de geologische leerboeken wil dat het leven pas in de loop van het Siluur (ca. 400 miljoen jaar geleden) “aan land ging”; ruim 3 miljard jaar na het ontstaan van het leven op aarde dus. Omdat het leven van het begin af aan bestond uit uiterst kleine, eencellige organismen, die weliswaar strikt aan water waren gebonden, maar zich in minieme waterdruppeltjes (*aerosols*) via de wind konden verplaatsen, moet het zich al vroeg tot ver op de toenmalige continenten hebben kunnen verspreiden (net zoals mensen elkaar door “aanhoesten” kunnen besmetten met ziekteverwekkende bacteriën). Overal waar de bacteriën

daar min of meer constante hoeveelheden water vonden (meren, laagvlakten, riviermondingen), moeten ze zich als “bacteriële matten” tijdelijk of permanent hebben kunnen vestigen. Het ligt daarom voor de hand te veronderstellen dat er van vrij vroeg af aan al bacterieel leven op het land moet zijn geweest; maar, dat liet geen herkenbare fossielen na (of: er is nooit goed naar gezocht). NB allerlei eencellige organismen kunnen rond hun celmembraan een zo goed als ondoordringbare laag vormen, waardoor ze soms jarenlange perioden van droogte kunnen overleven. Je mag aannemen, dat dit vermogen niet pas in de laatste paar honderd miljoen jaar is ontwikkeld.

Toch vormde de “echte verovering van het land” door meercellige planten en dieren (vanaf het Siluur) een van de grootste overgangen in de aardgeschiedenis. Vanaf die tijd begon het wereldbeeld zoals we dat nu kennen te ontstaan.

Biomassa

Als we kijken naar de huidige biosfeer, dan zien we dat er veel meer leven is op de continenten, dan in de open wateren (oceanen, zeeën, meren). De hoeveelheid leven wordt uitgedrukt in megatonnen (Mt = miljoen ton) of gigatonnen (Gt = miljard ton) “biomassa”. Daarbij wordt vaak alleen het zuivere koolstof (C)-gehalte van organismen meegeteld. Dat om vergelijkingen van de hoeveelheden biomassa tussen de verschillende leefgebieden en groepen organismen (bacteriën, planten, dieren etc.) onafhankelijk te maken van allerlei “toevalligheden” (zoals verschillen in water- of calciumgehalte tussen bijvoorbeeld bacteriën en schildpadden). Je zou ook kunnen zeggen dat de biomassa, uitgedrukt in het gewicht aan koolstof een directe maat is voor de hoeveelheid C die door bepaalde groepen organismen in bepaalde leefgebieden is vastgelegd, onafhankelijk van alle andere chemische elementen die in die organismen aanwezig zijn. Op die manier gemeten (of liever gezegd: gemeten, geschat, geëxtrapoleerd en berekend; want niemand kent de exacte getallen) bevindt zich in de oceanen tegenwoordig ca. 1,5 Gt biomassa; op het land ca. 65 Gt. Dat is op het land dus bijna 50 maal zoveel als in het water! (bron m.b.t. de getallen: Smil, 2002).





Geplooiide gesteenten uit de Banded Iron Formation (Australië), die ontstond nadat fotosynthetiserende organismen voor het eerst zuurstof in de atmosfeer brachten. (Foto: Piet Vierbergen)

Hoe kan dat nu? Water is onmisbaar voor het leven. Het leven is met zekerheid in het water ontstaan en leefde meer dan driekwart van zijn geschiedenis in het water (inclusief de “natte plekken” op de continenten). En toch is er tegenwoordig 50 maal zoveel leven *buiten* het water als er *in*! Het antwoord op die vraag kent twee elementen: 1. de fotosynthese heeft zonlicht nodig; 2. water is niet alleen een “vriend” van het leven, maar ook een “vijand”.

Fotosynthese vraagt om zonlicht

Met de opkomst van de fotosynthese (vanaf 3,5 miljard jaar geleden) werd zonlicht een minstens even belangrijke factor voor het leven als water. Hoewel water “kristalhelder” kan zijn, neemt de hoeveelheid zonlicht die er in doordringt van boven naar beneden exponentieel af. Op 20 m diepte begint het al “schemerig” te worden; beneden de 200 m dringt vrijwel geen zonlicht meer door. Efficiënte fotosynthese kan dus alleen in een dunne laag onder het wateroppervlak plaatsvinden.

Op het land geldt die beperking niet. Afgezien van bewolking (die er ook boven de oceanen is) houdt niets daar het zonlicht tegen. Een “eldorado” voor fotosynthetiserende organismen.

Water: vriend en vijand

Het leven kan niet zonder water. Dat wil zeggen, niet zonder een bepaalde minimum hoeveelheid water. Teveel water vormt echter evenzeer een bedreiging. Vooral in de allereerste beginfasen van het leven op aarde (ca. 4 miljard jaar geleden) was dat een probleem, omdat de oceanen toen nog maar weinig “zouten” bevatten. Voor hun metabolisme hadden cellen allerhande in hun celvocht opgeloste stoffen nodig, maar door *osmose* (het aantrekken van water door een oplossing met een hoge concentratie aan opgeloste stoffen) dreigde van buitenaf voortdurend water de cel binnen te dringen. De cellen zouden daardoor worden “opgeblazen”, als de uit vetzuren bestaande celmembranen dat niet had verhinderd. De celmembranen hadden toen dus in de eerste plaats de functie van het “buiten de deur houden” van water uit de omgeving en het “binnen houden” van de benodigde levensstoffen.

Toen het zoutgehalte in de oceanen geleidelijk steeg (door vanaf de continenten aangevoerde minerale producten van chemische erosie), keerde dat probleem om: de concentratie van opgeloste stoffen werd *buiten* de in zeeën en oceanen levende organismen hoger dan die *binnen*. Daardoor dreigden cellen voortdurend water te verliezen (en zouten dreigden de cel binnen te dringen). Het leven in het water begon te lijken op het (huidige) leven in de woestijn: uitdrogingsgevaar! Dat probleem werd ondervangen door de ontwikkeling van alsmat complexere structuren in de celwand. Het leven leerde dus al *in* het water om met droogte om te gaan!

Toen dat eenmaal was gebeurd en toen er dankzij de “taakverdeling” tussen de weefsels in meercellige organismen, mogelijkheden ontstonden om de waterhuishouding nog veel beter te reguleren, was het leven klaar om het open water echt te verlaten. Overigens: ook de vorming van de ozonlaag, hoog in de atmosfeer (O_3 , ontstaan uit van fotosynthese afkomstig O_2), die bescherming biedt tegen levensbedreigende kortgolvlige straling van de zon, was een voorwaarde voor het “aan land gaan” van het leven.

Op het land wachtte een stortvloed aan zonlicht, wat tot een uitbundige groei van biomassa en biodiversiteit op de continenten leidde. De zon won het van



het water. Of liever gezegd: het voordeel van meer zonlicht woog op tegen alle inspanningen die het leven zich op het droge moest getroosten om aan de onmisbare hoeveelheden water te komen.

De biosfeer nu

Sindsdien is er bijna geen plek op aarde meer waar geen leven is. Van de diepste oceaantroggen tot op de hoogste berghellingen. In gesteenten tot op 5.000 m diepte; in en onder de ijskappen van Groenland en Antarctica; in woestijnen waar slechts eens in de paar jaar enkele millimeters regen vallen; in kokendhete warmwaterbronnen en sofataren. Overal waar ook maar een fractie water is te vinden, is leven, hoe weinig het soms ook is, en hoe traag het soms ook leeft. Na miljarden jaren evolutie en ontwikkeling heeft de biosfeer zich dus tot ver buiten de hydrosfeer in strikte zin uitgebreid.

Sporen van leven in de geologie

Zoals uit diverse bijdragen aan deze WaterSpecial van G&H blijkt, heeft water in al zijn gedaanten (vloeibaar, ijs, damp, endogeen) tal van sporen achtergelaten in de geologie. Ook het leven, dat dankzij water kon ontstaan en evolueren, heeft dat gedaan. In de meest directe vorm als fossielen; maar ook op allerlei indirecte manieren. Hieronder slechts een kleine greep:

Atmosferische samenstelling

De vroege fotosynthetiserende (cyano)bacteriën zorgden voor grote veranderingen in de samenstelling van de aardse atmosfeer. Het CO₂-gehalte van de oeratmosfeer daalde drastisch en voor het eerst kwam er vrije zuurstof (O₂)

beschikbaar. De atmosfeer veranderde van reducerend in oxiderend. Groot-schalige neerslag en afzetting van onoplosbare ijzeroxiden in de vorm van BIFs (Banded Iron Formations; zie de bijdragen van Troelstra over “Oceanen in beweging” en “IJs in de geologische tijd” in dit nummer op pagina 124 en pagina 138) was het gevolg. Daarna steeg het O₂-gehalte in de atmosfeer tot (soms boven) het huidige niveau van ca. 20%, met vergaande consequenties voor de verdere ontwikkeling van hydrosfeer en lithosfeer.

Temperatuurregulatie

Het leven heeft in belangrijke mate bijgedragen aan het binnen bepaalde grenzen houden van de temperatuur op aarde. In de loop van de ruim 4,5 miljard jaar aardgeschiedenis is de hoeveelheid straling van de zon met 30% toegenomen. Dat de temperatuur op aarde na het afkoelen van de korst door de geringe hoeveelheid zonne-



De kalkafzettingen bij Punta Maiata (zuidkust van Sicilië) laten niet alleen het effect zien van “biomineralisatie” (deze kalkpakketten zijn opgebouwd uit triljarden en nog eens triljarden kalkskeletjes van micro-organismen), maar ook van klimaatschommelingen, waardoor de bandering in de kalken ontstond. (Foto: met dank aan Dr. Frits Hilgen, Instituut voor Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht).

straling niet al snel tot ver onder het vriespunt daalde, was te danken aan het zeer hoge gehalte aan broeikasgasen (met name CO₂, afkomstig van vulkanische uitstoot) in de toenmalige atmosfeer. Als de samenstelling van de atmosfeer vervolgens hetzelfde zou zijn gebleven, zou de temperatuur met het groeien van de zonkracht zijn opgelopen tot ver boven de 100 °C. Het leven onttrok echter CO₂ aan de atmosfeer (en verving het door O₂). Het broeikaseffect nam af, waardoor de temperatuur min of meer constant bleef. Natuurlijk waren er “ups and downs” in het temperatuurverloop met relatief warme perioden en ijsstijden als gevolg, maar na iedere “uitschieter” werd, mede onder invloed van het leven, het evenwicht weer hersteld.

Temperatuur/klimaat en water/leven hangen dus sterk met elkaar samen. Zonder de factor “leven” in dat ingewikkelde geheel zou de geologische geschiedenis (en dus het huidige aanzien van de aarde) er totaal anders hebben uitgezien.

Afzetting van kalksteen

Het leven speelde en speelt nog steeds een bijzonder belangrijke rol bij de afzetting van kalk in zeeën en oceanen. Vanaf 3,5 miljard jaar geleden begonnen de bacteriële “matten” van cyanobacteriën al anorganische kalkdeeltjes “in te vangen” waardoor tussen de bacterielagen kalklaagjes ontstonden. Op den duur werden op die manier enorme riffen van “stromatolieten” opgebouwd waarin veel kalk werd opgehoopt. Toen er door fusies (*symbiose*) van diverse soorten bacteriën (= *prokaryoten*; simpele, kleine cellen zonder celkern) veel complexere eencellige organismen ontstonden (*eukaryoten*), ontstond op een gegeven moment ook het proces van de *biomineralisatie*. Dat is het vermogen van organismen om via organisch-chemische processen kalk in of rond hun cellen te laten neerslaan t.b.v. de vorming van inwendige of uitwendige skeletten of ondersteunende weefsels (sponsnaalden, schelpen, coccoliet-schildjes, foraminiferen-skeletjes etc.). Vanaf dat moment begon het leven zelfs in de diepste oceanen zijn sporen achter te laten: de kalkskeletjes zonken vanuit de bovenste, “levende” waterlagen naar de bodem en vormden daar tot duizenden meters dikke kalklagen. Vrijwel alle kalkafzettingen op aarde

zijn op die manier dankzij de invloed van het leven gevormd. Daarmee had het leven bovendien een enorme invloed op de aardse Ca-kringloop.

Nog sterker: de dikke kalkafzettingen op de oceaانبodems oefenden een grote (extra) druk uit op de onderliggende oceanische platen, die daardoor sneller zonken. Je zou dus kunnen zeggen dat het leven langs deze weg zelfs invloed had op de platentektoniek, waarbij het zinken van afkoelende oceanische korst immers een belangrijke rol speelt.

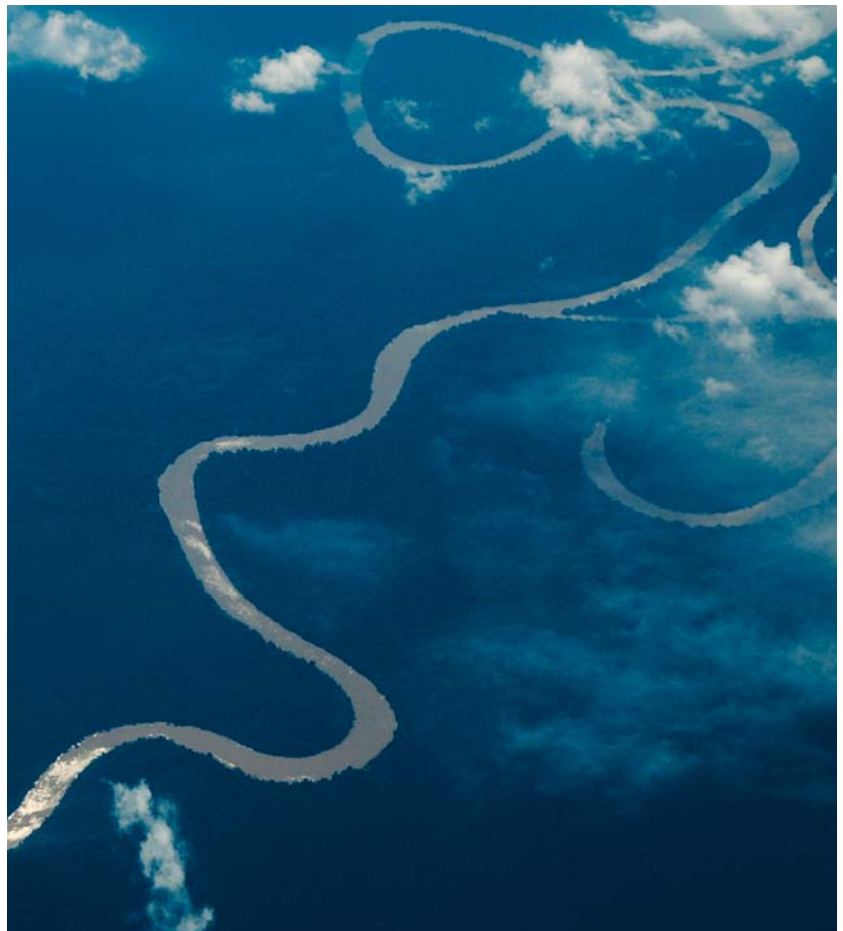
Omwoelde sedimenten

Toen, voorafgaand aan het Cambrium de eerste meercellige, en dus grotere organismen ontstonden en zich ontwikkelden tot een enorm scala aan vormen, veranderde de structuur van de afzettingen in de ondiepe zeeën. De toplaag van het sediment werd voortdurend omgewoeld door wortelende en vooral gravende organismen. Deze overgang is duidelijk te zien in allerlei sedimenten.

Landleven

De geologische sporen (los van fossielen en ichnofossielen) van het leven op het land zijn overweldigend. Teveel om op te noemen. Slechts een paar voorbeelden:

- De combinatie van planten, dieren en eencelligen op het land zorgt voor bodemvorming, waardoor het aardse land niet het aanzien van een “Maan- of Mars-landschap” biedt.
- De “mechanische” erosie op het land wordt sterk beïnvloed door het leven: aan de ene kant helpen plantjes als de “steenbreek” om de erosie te versterken; aan de andere kant zorgen plantenwortels ervoor dat geërodeerde producten niet razendsnel worden afgevoerd.
- Het (land)leven heeft een sterke invloed op de “chemische” erosie, en daarmee op de hele mineralenkringloop van de aarde, vanaf de gebergten tot in de oceanen.



Pas toen het leven op het land doorwortelde bodems begon te vormen, ontstonden meanderende rivieren.





Met bijna één miljoen stuwdammen oefent de mens grote invloed uit op de natuurlijke waterkringloop op Aarde.

- Voordat het leven “aan land ging” werden alle producten van de erosie heel snel, via rivieren richting zee afgevoerd. In het laagland hadden die rivieren destijds een “vlechtend” karakter. Sinds de tijd dat het leven op het land bodems begon te vormen, werden de laaglandrivieren “meanderend”, met alle in de geologie zichtbare gevolgen van dien.
- Het *albedo* (de reflectiviteit) van het landoppervlak wordt sterk beïnvloed door het leven: hoe dichter de bedekking met planten/bossen, hoe minder licht er naar de atmosfeer wordt teruggekaatst. De gevolgen voor de temperatuur en het klimaat op aarde zijn navenant.
- Het leven op het land heeft grote invloed op de aardse waterkringlopen. De organische bodems houden neerslagwater veel langer vast, en sommige ecosystemen “maken hun eigen waterkringlopen”. Regenwouden zijn een mooi voorbeeld: ze recirculeren (neerslag)water binnen hun eigen systeem, en laten maar een fractie daarvan “ontsnappen” naar de zee.

Geen water zonder leven?

Tot slot een heel speculatieve gedachtegang. Er zijn wetenschappers die menen dat er niet alleen geen leven zou zijn geweest op aarde zonder water, maar dat er ook al lang geen water meer op aarde zou zijn geweest zonder de aanwezigheid van leven. De redenering is als volgt: onder invloed van zonlicht valt een deel van de waterdamp in de atmosfeer uiteen in O en H (*foto-dissociatie*).

Omdat H een veel te licht element is om door de aardse zwaartekracht te worden vastgehouden, ontsnapt het naar de ruimte. Jaarlijks gaat het daarbij slechts om een uiterst minieme fractie, maar in de loop van de miljarden jaren zou de *foto-dissociatie* voldoende zijn geweest om al het water uit alle oceanen te doen verdwijnen. Doordat het leven een “overmaat” aan vrije zuurstof in de atmosfeer begon te produceren, oxideerde de vrijkomende H onmiddellijk weer tot H₂O, om op die manier weer terug te komen in de aardse waterkringlopen.

Water en mensen

De mens is één van de minstens 10 miljoen (wellicht zelfs 30 miljoen) biologische soorten die op dit moment op aarde leven. Op die manier beschouwd, vormt de mens dus slechts een absoluut minimaal onderdeelje van de biosfeer. Kijken we echter naar de mensheid in termen van “biomassa”, dan komen we tot verbijsterende conclusies. Alle ca. 7 miljard mensen van nu zijn tezamen goed voor 40 Mt biomassa (in de vorm van koolstof). Dat is 8 maal zoveel als de biomassa van alle op het land levende gewervelde dieren (van het kleinste hagedisje, muisje of vogeltje tot de grootste olifant) bij elkaar, die samen 5 Mt vertegenwoordigen. Geen wonder dus, dat de “antroposfeer” tegenwoordig als apart onderdeel van de biosfeer wordt beschouwd.

De vergelijking wordt nog extremer als we zien dat de mensheid op dit moment 100 Mt wereldwijd aan ge-domesticeerde (landbouwhuis)dieren houdt (dat is dus 20 maal zoveel als alle wilde gewervelde dieren op de continenten) en dat we meer dan 40% van het totale, daartoe geschikte, landoppervlak gebruiken voor onze voedselproductie. Alle voorspellingen wijzen er bovendien nog eens op dat deze getallen in de komende 30 jaar zullen verdubbelen, naarmate niet alleen het aantal mensen, maar vooral hun (voedsel)consumptiegedrag stijgt. Omdat we ook vrijwel alle uithoeken van de oceanen zwaar (over)bevissen, heeft het er alle schijn van dat de antroposfeer met rasse schreden bezig is de biosfeer vrijwel in zijn geheel te vervangen.

De effecten daarvan op de natuurlijke waterhuishouding van onze planeet zijn nu al gigantisch en zullen in de nabije toekomst nog dramatischer worden. Bij de monding van de Colorado River, die ooit de machtige, 2.000 m diepe Grand Canyon uitsleep, bereikt nu nog slechts een piezelstroompje water de zee. De hele rest is onderweg opgebruikt door de mens. Grootschalige irrigatieprojecten t.b.v. de landbouw leiden in grote delen van de wereld tot spectaculaire daling van de diepe grondwatervoorraden en tot uitdroging van meren, moerassen en andere *wetlands*, met zand- en stofstormen als gevolg in gebieden waar die vroeger nooit voorkwamen. Alleen al in de Verenigde Staten liggen 80.000 stuwdammen in grote en kleinere rivieren; wereldwijd zijn dat er bijna 1.000.000. Onvoorstelbare ingrepen in de aardse natuurlijke systemen, processen en kringlopen.

Watermanagement en internationale waterpolitiek verdienen dus de aller-hoogste plaats op de agenda voor de toekomst!

LITERATUUR

Smil, V., 2002.

The Earth's biosphere. The MIT Press, Cambridge, London: 346 pp. ISBN 0-262-19472-4.

