

Over het belang van bodemschimmels voor ecosysteem aarde. Een chemisch-ecologische visie op klimaatverandering.

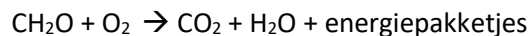
Lezing voor Probus 96 De Bilt, dd.12-07-22.

© Dr. Wim J. Baas, chemisch ecooloog. Kerkdijk 126, 3615BJ, Westbroek.

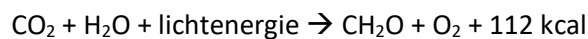
(Met 6 bijlagen)

Primaire Stofwisseling (“Leven”)

Ademhaling: Vrijmaken van energie voor groei en bewegen van planten, dieren en micro-organismen



Fotosynthese: Opslaan van zonne-energie in suikers en in biomassa door planten en andere groene cellen



Secundair metabolisme (“Overleven”)

Fotosynthese-overschot: Vormen van secundaire plantenstoffen voor communicatie met, en als energiebron voor symbiose-partners van planten.

Symbiose met bodemschimmel-netwerk (Wood Wide Web, grootste zoetwater reservoir):

- Suikers: Naar wortel-koloniserende mycorrhiza-schimmels
- Hout: Substraat voor de andere bodemschimmels van het Wood Wide Web

Overleven van planten tijdens droogte en als energieopslag voor nieuwe generatie:

- Zetmeel: zaden (graan), bollen, knollen, wortelstokken.

Relatie met de mens:

- Medicijnen, drugs, specerijen, voedsel en brandstof (hout)

N.B.

Alle langlevende planten (Bomen, struiken, meerjarige kruiden) zijn mycorrhizaal, hebben dus doorschimmelde worteluiteinden. Die fungeren als “marktplaats” waarin suikers van de plant worden uitgewisseld tegen water, met de daarin opgeloste mineralen, vanuit het bodemschimmelnetwerk.

Grootschalig vervangen van mycorrhizale plantengroei door over-bemeste, geïrrigeerde of geploegde landbouw leidt tot verdroging, misoogsten en onleefbaarheid.

De natuurlijke processen van het dynamische Ecosysteem Aarde verlopen via kringlopen die door terugkoppeling worden gereguleerd. Grootschalige verstoring wordt gecompenseerd door grootschalige, niet te voorspellen reactie vanuit het systeem.

Over het belang van bodemschimmels voor ecosysteem aarde. Een chemisch-ecologische visie op klimaatverandering.

Lezing voor Probus 96 De Bilt, dd.12-07-22.

© Dr. Wim J. Baas, chemisch ecooloog. Kerkdijk 126, 3615BJ, Westbroek.
(Met 6 bijlagen)

Inleiding

Mijn verhaal gaat over het belang van bodemschimmels voor Systeem Aarde. Want bodemschimmels hebben vanwege hun effect op het bodemwater invloed op de temperatuur van de omgeving. Dat past in de visie dat het aardse klimaat wordt gereguleerd door de levende natuur. In die visie werkt verstoring van de natuur door in de samenstelling van de dampkring, en ook in de kringlopen in de oceanen en op het vasteland. Momenteel wordt de toename van CO₂, door de verbranding van fossiele brandstoffen, gezien als de hoofdoorzaak van de klimaatverandering. Maar ik ben van mening dat grootschalige ontbossing de primaire oorzaak is. Vanwege de afname van de fotosynthese, de energiebron van al het aardse leven. En vanwege de, door ontbossing optredende, verdroging. En daarbij zijn bodemschimmels betrokken.

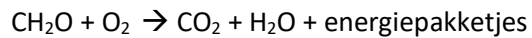
De dampkring

Maar eerst wil ik iets zeggen over de samenstelling van de dampkring. Want daarmee onderscheidt de aarde zich van de andere planeten van ons zonnestelsel. Dat komt doordat zich op de Aarde leven heeft ontwikkeld, als gevolg van miljarden jaren evolutie. Door de biochemische processen die samenhangen met die levende natuur heeft zich een beschermende atmosfeer gevormd, die de ingestraalde zonnewarmte gedeeltelijk vasthoudt. Dat is het zogenaamde broeikas effect. De huidige gemiddelde temperatuur op aarde, van 14 graden Celsius, is daardoor 33 graden hoger dan zonder de aardse atmosfeer. Daarin komt, naast veel stikstof, vooral kooldioxide, zuurstof en waterdamp voor. Al gedurende honderden miljoenen jaren in een min of meer vaste samenstelling. Kooldioxide zou, door absorberen van infrarode straling, warmteverlies naar de ruimte verminderen, en daarmee als een broeikasgas werken. De toename van kooldioxide, door de verbranding van fossiele brandstoffen sinds de industriële revolutie, wordt daarom verantwoordelijk gehouden voor de stijgende gemiddelde temperatuur van de aardse atmosfeer.

Maar, kritische fysici zeggen dat een verdubbeling van de huidige CO₂-concentratie het broeikas effect van 33 graden Celsius met slechts 0,3 graad Celsius zou verhogen. Een toename dus van slechts 1%. Dit in tegenstelling tot de 10 maal hogere raming, van 3,2 graden in het IPCC- rapport uit 2007. Naast de verhoging van de CO₂-concentratie moet er dus meer aan de hand zijn. Zoals verandering in de atmosfeer van de hoeveelheid waterdamp, of van zuurstof. Want ook daarop heeft de levende natuur invloed. Immers, de samenstelling van de dampkring wordt voornamelijk bepaald, en constant gehouden, door de twee belangrijkste biochemische processen van de natuur: dat zijn de *fotosynthese* van groene planten en algen, en de *ademhaling* van de planten en van de planteneters. Omdat in beide processen, naast kooldioxide en energie ook zuurstof en water een belangrijke rol spelen, geef ik daarom eerst een kort overzicht over de ademhaling en de fotosynthese.

Ademhaling

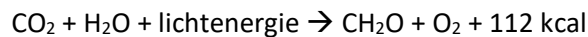
Om te beginnen de ademhaling. Vrijwel alle levende organismen, planten, dieren en schimmels, krijgen hun noodzakelijke energie uit ademhaling. Ademhaling komt neer op het verteren, als het ware “biologisch verbranden” van energierijk organisch materiaal. Vooral van “biomassa” zoals strooisel en hout. Maar ook van koolhydraten, zoals suikers en zetmeel. Bij de ademhaling komt daaruit de energie trapsgewijs vrij. De vereenvoudigde reactievergelijking, voor de vertering van suikers en biomassa via de ademhaling is:



Bij de ademhaling is dus zuurstof nodig, en er komt kooldioxide en water vrij. Ademhaling levert de energie aan alle zuurstof-afhankelijke levende organismen. Die energie is gedoceerd nodig voor hun groei en bewegen, van planten en van dieren. Ook het verbranden van biomassa door v ur verloopt via dezelfde reactie. Maar dan komt alle energie in  en keer vrij, als warmte. Bijvoorbeeld bij een bosbrand.

Fotosynthese

Dan de fotosynthese. Fotosynthese komt alleen voor in groene cellen. Vooral van groene planten en van algen. De fotosynthese verloopt via dezelfde reactievergelijking als die van de ademhaling, maar dan in omgekeerde richting. Bij de fotosynthese wordt dus - met geabsorbeerde zonne-energie - uit CO₂ en water juist suiker of biomassa gevormd. En daarbij komt zuurstof vrij:



Hoewel de hoeveelheden biomassa die op land en in de zee gevormd worden kwantitatief vergelijkbaar groot zijn, zal ik me vooral beperken tot de landplanten.

De door planten, bij de fotosynthese, in suikers vastgelegde zonne-energie wordt voor een deel gebruikt als brandstof voor de eigen groei. Bij kruidachtige planten wordt een fotosynthese-overschot meestal opgeslagen in de vorm van zetmeel. In kortlevende planten, zoals granen, is het in de zaden opgeslagen zetmeel de startenergie voor de nieuwe generatie. En in bollen, knollen en wortelstokken van meerjarige kruidachtige planten dient het daarin opgeslagen zetmeel voor hernieuwde groei, vooral na droogte. De kruidachtige planten hebben meestal dunne celwanden, en hun goed verteerbare zetmeel en eiwit vormt het hoofdvoedsel van veel planteneters, ook van mensen.

Heel anders is het bij langlevende houtige planten, zoals bomen en struiken. Want daar wordt een fotosynthese-overschot vooral vastgelegd in dikke celwanden, van hout en van vezels. Hout is het hoofdvoedsel van schimmels.

Bossen en het Wood-Wide-Web

En daarmee ben ik aangeland bij de kern van mijn verhaal: het complexe systeem van bossen en van de daarmee verbonden bodemschimmels. En bij het belang van het bossysteem bij het wereldwijd reguleren van de samenstelling en de temperatuur van de dampkring. Want via de fotosynthese en de ademhaling heeft het bos-ecosysteem daarop een belangrijke invloed, zowel via zuurstof, via kooldioxide  n via waterdamp. En dan blijkt dat het verdwijnen van bodemschimmels door ontbossen v rgaande gevolgen heeft.

Ik wil dit illustreren met de welhaast hedendaagse visie van de Griekse filosoof Plato. Een visie op de grootschalige ontbossing rond Athene. Plato leefde van 428 tot 347 v or onze jaartelling. Ik vond dit citaat in het boek dat Matthys Schouten rond de eeuwwisseling schreef, voor het jubileum van Staatsbosbeheer:

‘Maar toentertijd, toen ze nog gaaf was, bezat onze streek hoge heuvels, die haar bergen waren; wat men nu de “steenvlakte” noemt, was toen een vlakte vol vette grond---waarop men, nog niet heel lang geleden bomen velde, bestemd om balken te leveren voor de grootste bouwwerken-----op de bergen was het hout rijkelijk voorhanden-----al het vette en malse grond is [nu] van alle zijden afgevoeid---Verder gedijde hij trouwens ook nog door het w ter, dat niet verloren ging zoals nu, door van de onbegroeide aarde in zee te stromen. Nee, in grote hoeveelheid nam de grond het water in zich  p, en behield het, door het in voorraad te houden in de beschutte kleilaag----Nu nog leveren de heiligdommen, die bewaard bleven op de plaats waar  ertijds bronnen waren het bewijs, dat de verhalen van nu, over het oude Attica, waar zijn’.

Uit dit citaat van Plato blijkt, dat hem toen al bekend was dat bossen de bodem beschermen, en dat bosbodems een reservoir vormen voor water. We kunnen dat nu verklaren omdat we weten dat alle langlevende planten met hun vlezige ondergrondse delen gekoppeld zijn aan een veelsoortig netwerk van bodemschimmels. Daarbij fungeert het “doorschimmelde” vlezige uiteinde van de wortels, de mycorrhiza, als een soort marktplaats. Een marktplaats waar bomen en struiken, en ook langlevende kruiden, water krijgen toegevoerd vanuit het bodemschimmel netwerk, mét de daarin opgeloste mineralen. En in ruil voor het geleverde water en de mineralen ontvangen de in de mycorrhiza doorlopende zogenaamde mycorrhiza-schimmels suiker. *Suiker uit het fotosynthese-overschot van de groene waardplanten*. Naast suiker voor de mycorrhiza-schimmels, is dood hout de belangrijkste energiebron voor de rest van het bodemschimmelnetwerk.

Het soortenrijke bodemschimmelnetwerk ontwikkelt zich alleen in langdurig ongestoorde bodems, zoals onder oude bossen. Dat netwerk wordt daarom wel het “Wood-Wide-Web” genoemd. En ooit, voor de grote kaalslag zal dat netwerk als “World Wide Web” vrijwel het gehele vasteland tussen de oceanen hebben omvat. De draadvormige, water-absorberende bodemschimmels dringen diep door in al de poriën van het voor leven toegankelijke deel van de bodem onder het bos. Daardoor heeft de daarop aangesloten permanente, dus *mycorrhizale* bosvegetatie nooit gebrek aan water. Zo overleven bijvoorbeeld grote beuken langdurige droogte doordat ze via het bodemschimmel netwerk het diepe grondwater kunnen bereiken. Ook wordt, in de intensief doorschimmelde bosbodems, letterlijk elke zandkorrel door schimmeldraden vastgelegd, zodat erosie effectief wordt voorkomen. Dat vastleggen van de bodem is vooral belangrijk in hellingbossen. Daarom leidt ontbossen op hellingen vaak tot aardverschuivingen en alles verwoestende modderstromen. Want door ontbossen verdwijnt ook het van de planten afhankelijke bodemschimmelnetwerk. Dus ook de samenhang van de bodem.

De totale biomassa van het sterk hygroscopische, grotendeels uit water bestaande, schimmelnetwerk is wereldwijd zo groot dat wel is gesuggereerd ‘dat daarin meer zoet water zit opgesloten, dan in al de zoetwatermeren en rivieren’. Dit zoetwater-reservoir onder de bossen vormt, samen met de oceanen letterlijk ‘de watermantel van de aarde’. Van Gaia, moeder Aarde van de oude Grieken. Maar door ontbossing verdwijnt steeds meer van dit sponsachtige, ondergrondse waterreservoir. Want vooral in het tropische laagland worden grootschalig ontboste gebieden omgezet in niet-circulaire akkerbouw. Met als gevolg verdroging, erosie en verwoestijning. Zulke ontboste gebieden worden uiteindelijk door gebrek aan water, en de te hoog oplopende temperaturen ongeschikt voor vrijwel alle vormen van leven, inclusief dat van de mens.

Dat blijkt ook uit onderzoek onder leiding van Jared Diamond. Grootschalige houtkap en ontbossing zou in veel van de onderzochte gevallen de oorzaak geweest zijn van de ondergang van oude beschavingen.

Plant-schimmel relatie en evolutie

De innige relatie tussen planten en bodemschimmels is te begrijpen uit de evolutie van planten. Die evolutie zou zijn begonnen in de oerzee, door het fuseren van vrij levende schimmels en groene eencelligen. Door deze fusie beschikten de in de oerzee gevormde voorlopers van de landplanten over de fotosynthese van de cyanobacteriën. En over de transportfunctie én de chemische diversiteit van schimmels. Genetisch gezien zijn planten dus halve schimmels: het zijn zogenaamde chimeren, net als korstmossen. Maar bij korstmossen is het de schimmelpartner die het meest opvalt. Bij planten is dat het groen van de fotosynthetiserende cellen. Planten worden daarom wel beschouwd als binnenstebuiten gekeerde korstmossen. Een ander verschil is dat korstmossen langdurige verdroging tolereren. Daarentegen moeten hogere planten in hun groeiseizoen permanent over water beschikken.

Bij de overgang van de oerplant vanuit de zee naar het land werd voorzien in permanent water door mee-evoluerende, bodem-koloniserende schimmels. Die vormden, als het Wood Wide Web, het in de bodemschimmels besloten zoetwaterreservoir. Daarmee verdween de droogtebarrière voor landplanten en

kwam er letterlijk een wereldwijde watermantel tot stand: zout water in de oceanen, en zoet water in het bodemschimmelnetwerk, onder de oerbossen en de begraasde vlakten. Zeeën, bossen en riviersystemen vormen zo samen de watermantel van Systeem Aarde, waarvan al het leven afhankelijk is.

Het hier gepresenteerde, in bodemschimmels opgesloten zoetwater-reservoir is een ecologische aanvulling en tevens een bevestiging van de juistheid van de Gaia Theorie van James Lovelock. Die stelt dat systeem Aarde kan worden opgevat als één samenhangend, levend super-organisme. Grootschalige aantasting van de watermantel op land door ontbossing heeft dus verstrekkende consequenties: met het bos verdwijnt daar ook het dierlijke leven. En verdroging door zeer grootschalige ontbossing brengt de stabiliteit van heel systeem Aarde in gevaar.

Secundaire plantenstoffen en fotosynthese-overschot

Bossen, en vooral het oerbosysteem zijn dus belangrijk voor Systeem Aarde. Dat oerbosysteem dankt zijn stabiliteit aan de grote biodiversiteit. Die is ontstaan door miljoenen jaren co-evolutie van planten en bodemschimmels. In zulke oude bossystemen heeft vooral het aan de plantenwortels gekoppelde netwerk van bodemschimmels een zeer hoge diversiteit. En die hoge óndergrondse schimmeldiversiteit maakt de grote diversiteit van de ervan afhankelijke bóvengrondse plantengroei mogelijk.

Omdat planten genetisch gezien halve schimmels zijn, beschikken zij ook over de van het schimmelrijk afkomstige genen om een grote diversiteit van chemische verbindingen te produceren. Dat zijn de zogenaamde secundaire plantenstoffen. Veel secundaire plantenstoffen blijken als biologisch actieve verbindingen een rol te spelen bij de communicatie tussen individuele planten en de hun omringende natuur. Als lokstoffen, en als afweerstoffen zijn zulke secundaire plantenstoffen al in geringe hoeveelheden belangrijk voor de samenhang en dus de stabiliteit van het natuurnetwerk.

Een massaal gevormde secundaire plantenstof is houtstof, of lignine. Als hoofdbestanddeel van de wanden van de vezels en houtvaten van het plantenskelet, gaf dat de oerplant de mogelijkheid om te evolueren tot water transporterende landplant. En naast suikers vanuit de wortels is hout de belangrijkste bron van energie voor de schimmels van het Wood-Wide-Web.

Ook mensen zijn afhankelijk van secundaire plantenstoffen. Naast biomassa in de vorm van hout, cellulose en zetmeel zijn wij afhankelijk van natuurlijke geneesmiddelen, en van specerijen en drugs. En tegenwoordig ook van fossiele biomassa in de vorm van kolen, veen, aardolie en aardgas.

Dus waar het *primair metabolisme* - van ademhaling en van fotosynthese - noodzakelijk is voor groei en bewegen van al het **leven** op aarde, wordt meer en meer duidelijk dat de uit een *fotosynthese-overschot* gevormde secundaire plantenstoffen vooral belangrijk zijn voor het **overleven**. Voor het overleven van álle organismen van ecosysteem aarde. Want als signaalstoffen zorgen ze voor de stabiliteit en de onderlinge samenhang van het leven op aarde. En als biomassa zijn ze primaire bron van voedsel. Een fotosynthese óverschot is ook belangrijk omdat het uit CO₂ en water naast biomassa ook zuurstof vormt. Wereldwijd is daarom veel fotosynthesecapaciteit nodig. En ooit, voor de grote kaalslag waren daarvoor voldoende bossen. Ook voor het duurzaam dekken van onze energiebehoefte met hout. Hout dat nog steeds de meest duurzame lokale opslag vormt van zonne-energie. En van CO₂!

Bos en klimaat

Dan wil ik nu verder ingaan op het belang van bossen voor het wereldwijde klimaat, en voor de leefbaarheid op aarde. Vooral in warme gebieden, zoals de tropen is verdamping van water uit bossen belangrijk vanwege de regulatie van de lokale temperatuur. Vooral de verdamping van regenwater, en de verdamping door de openstaande huidmondjes, tijdens de fotosynthese overdag, werkt in bossen sterk verkoelend. Ook het vele

koele water in het beschaduwde bodemschimmelnetwerk tempert de dagelijkse temperatuur fluctuaties. Die fluctuaties kunnen sterk oplopen vanwege de hoge ingestraalde zonne-energie tijdens de dag, en door de uitstraling tijdens de nacht. Het in bossen circulerende water tempert niet alleen lokaal de temperatuur, maar ook over de hele, vaak duizenden kilometers uitgestrekte bos-begeleidende riviersystemen. En zelfs tot ver daarbuiten. Dat is belangrijk, want de wereldwijde opwarming vormt de grootste bedreiging voor het leven op aarde. Dat blijkt nu al in de versteende miljoenensteden [Lovelock 2020, p.78].

De meeste bossen maken deel uit van één van de grote riviersystemen. De oorsprong daarvan ligt veelal in gletsjers, hoog in de bergen. Daar stroomt immens veel water, in de vorm van ijs over de rotsige bodem naar beneden. Dat schurende ijs smelt, door de druk en door opwarming, en vormt zo het mineralenrijke begin van de rivier. Die stroomt soms honderden kilometers door beboste hellingen naar het laagland. Naarmate het warmer wordt, en de verdamping toeneemt vormt zich een verkoelende damplaat boven het bos. Die stroomt als het ware boven de rivier mee richting oceaan. Wanneer door thermiek het vocht stijgt en in bewolking condenseert, dan kan de daarin opgehoopte energie zich ontladen in regen en onweersbuien. Daardoor, en ook door de reflectie van wolken wordt de instraling van zonne-energie getemperd. Daardoor blijven temperatuurverschillen binnen het immense rivier begeleidende bossysteem beperkt, en ook extremen in het lokale weer. Want extreem weer wordt juist veroorzaakt door grote temperatuurverschillen. Zulke temperatuurverschillen ontstaan overal waar, met het verdwijnen van de bodemschimmels door ontbossing, ook het water verdwijnt. Grootschalige verdroging door ontbossen kan dus een belangrijke oorzaak zijn van de wereldwijde klimaatverandering! En dan vooral verdroging in de warme, meer zuidelijke gebieden. Want daar zal de sterke instraling van de tropenzon dan niet langer door bodemwater en verdamping worden getemperd.

Door het verdwijnen van de doorschimmelde waterhoudende strooisellaag verdrogen ook de rivieren en verdwijnt de samenhang van de bodemdeeltjes. Met als gevolg erosie tot op de rotsachtige bodem en verwoestijning. Ontbossen in de tropen heeft dus vergaande gevolgen, omdat het stabiele oerbos daarna nooit meer terugkeert.

Met de dramatische gevolgen van de huidige grootschalige ontbossing en opwarming worden we vrijwel dagelijks geconfronteerd via de media. Ook Plato vreesde destijds al voor de welvaart van Athene vanwege de ontbossing. Vandaag zien we dat het ooit groene Middellandse zeegebied vrijwel gestript is van bebossing. Allereerst door de mens, daarna door zijn geiten die er op de rotsachtige ondergrond nauwelijks nog iets eetbaars vinden. Nog nooit stond het water in de rivier de Po zo laag. Elders is zoet water er al letterlijk een omstreden levensvoorwaarde. Verder zuidelijk, dus in de warmere zone zien we dat Egypte niet meer groen is, maar door verdroging nu grotendeels woestijn met zandstormen. De Nijl voert steeds minder water aan doordat bovenstrooms dammen en spaarbekkens nodig zijn voor het kunstmatig vasthouden van water. Gevaarlijk, gezien de damdoorbraak in februari 2021 in Noord-India. Zulke dammen dienen voor het opwekken van energie, voor drinkwater en voor de irrigatie van plantages. Die plantages zijn in de plaats gekomen van het water- en mineralen circulerende tropenbos met zijn permanente wateropslag. In veel delen van Afrika is door verdroging van bodem en rivieren landbouw niet meer mogelijk. Daardoor raakt in grote delen van Afrika de bevolking op drift, en is de kindersterfte er door voedselgebrek groter dan ooit. Nu blijkt ook dat globalisering van de voedselproductie grote risico's heeft: de oorlog in het graan-exporterende Oekraïne veroorzaakt momenteel rampzalige kindersterfte, en migratie in Somalië.

Ook in het Amazonebekken verdwijnt door houtkap een groot deel van het tropenbos. En ook in de Andes smelten de bronnen van de rivier, de gletsjers, in snel tempo af. Dat komt doordat, als gevolg van de klimaatopwarming en de luchtvervuiling, het wit-besneeuwde reflecterende ijs verandert in een grijs, zonne-energie absorberend oppervlak. Benedenstrooms, in de al eerder ontboste laagvlaktes lijdt de toenemende verdroging tot meer dagelijkse hitte, zandstormen en misoogsten. De ontboste verstedelijkte hellingen raken

mét hun bodemschimmels ook de samenhang van de bodem kwijt. Ook daar verdwijnt bij hevige regenval de bodem, door aardverschuivingen of als woeste, alles vernielende modderstromen.

En in versteende grote steden leidt de verdroging tot vrijwel onleefbaar hoge dagtemperaturen, zelfs tot boven de dodelijke 50 graden Celsius. Ook de spaarbekken in de bergen raken steeds vroeger in het jaar vrijwel leeg. Voor veel grote steden is de drinkwatervoorziening nu al problematisch. Overschakelen op grondwater verergert de verdroging, met als gevolg bossterfte en hevige bosbranden in de wijde omgeving, ook in natuurreservaten.

De verdrogende grote rivieren, vervuild, opgewarmd en zuurstofarm door de onttakeling van het landschap belemmeren in de verre uitloop van hun monding de groei van algen, koralen en zeegrasweiden langs de kusten. Dat veroorzaakt ook daar een dramatische afname van de fotosynthese. Dus minder zuurstof, en een afname van de vorming van biomassa, de basis van de voedselketens in zee. Ook neemt, als gevolg van de opwarming van het zeewater in het Caribisch gebied, de kracht van orkanen toe. En daarmee ook hun reikwijdte. De uitlopers van zulke superorkanen bereiken steeds vaker als zware stormdepressies het Amerikaanse vasteland, zelfs dat van Europa. Ook wordt door de warme golfstroom nu al meer warmte naar het noorden getransporteerd. Het is een bijkomende oorzaak van het wegsmelten van het Arctische ijs. En dat kan vérgaande gevolgen hebben voor het toekomstige klimaat. In dat verband wordt zelfs gesproken over een nieuwe ijstijd in ons gebied [Bijlage 2].

Over de toekomst, van Systeem Aarde en de mens

Tot slot de vraag: wat is de toekomst van onze aarde, is daarin nog plaats voor de mens?

De evolutie van het leven op aarde heeft geleid tot een zeer divers, wereldwijd samenhangend levend systeem. Als Gaia werd het al in de Griekse mythologie aanbeden, genoemd de godin van de aarde. Na veel onbegrip bij latere wetenschappers kwam er in de vorige eeuw opnieuw belangstelling voor deze visie. Vooral door de eerdergenoemde Gaia-Theorie van James Lovelock. Ook hij beschouwde de aarde als één organisme “waar het leven de hitte van de zon reguleert”. Als “technet” en NASA-onderzoeker bekeek hij de aarde vooral vanuit de ruimte [zie ook Bijlage 5].

Lovelock richtte zich vooral op fysische interacties en op de samenstelling van de atmosfeer. Daardoor was zijn verklaring destijds ontoereikend, en werd door maar weinig wetenschappers geaccepteerd. In zijn laatste boek, “Welkom in het Novaceen”, dat in 2019 verscheen komt de dan 100-jarige daarop terug met de verontschuldiging: “Misschien is het wel moeilijk te begrijpen, omdat wij mensen er een inherent onderdeel van vormen --- niet genoeg aandacht hebben besteed aan *het intuïtieve* denken dat zo’n grote rol speelt in ons begrip van de wereld”. Lovelock refereert daarbij aan Newton, die al lang geleden had ontdekt dat logisch denken niet werkt bij dynamische systemen. En in 1992 verwijst Lovelock naar de biofysicus Alfred Lotka. Die stelde dat het eenvoudiger zou zijn om een model te maken van een veelsoortig ecosysteem, als daaraan ook de fysieke omgeving wordt toegevoegd.

Mijn ecologische benadering, met inbegrip van de doorschimmelde humusrijke ondergrond geeft nu een aanvullende verklaring over hoe “het leven de hitte van de zon reguleert”. Over hoe het leven, via fotosynthese en ademhaling, zorgt voor een regulatie van de concentraties van kooldioxide, zuurstof en vooral ook van water in de bodem en in de dampkring. Zo wordt een sterke toename van CO₂ - door bijvoorbeeld bosbrand, verbranding van fossiele brandstof of door vulkanisme - door een intáct ecologisch systeem snel opgenomen in de fotosynthese. Met als resultaat dat er meer biomassa wordt gevormd, waarbij ook meer zuurstof vrijkomt. Extra biomassa betekent meer voedsel voor planteneters, die ook profiteren van de vorming van extra zuurstof.

Maar zo simpel is het niet meer. Want de te talrijke, over-consumerende mens heeft door rooibouw de wereldwijde kringlopen van de natuur danig verstoord. Vooral door ontbossing en vervuiling is de totale

fotosynthese-capaciteit sterk afgenomen. Daardoor hoopt CO₂ op, maar vermindert de voedselproductie en de beschikbare zuurstof. Is dit vergelijkbaar met de laatste uitsterfgolf van 66 miljoen jaar geleden? Ook toen was er een afname van de fotosynthesecapaciteit. Toen als gevolg van verduistering door de inslag van een hemellichaam.

Ook nu zijn er wereldwijd onvoldoende overlevingsmogelijkheden, ook voor ons. Niet de toename van CO₂, maar ontbossing is daarvan de hoofdoorzaak. Want met het bos verdween ook het van hout- en strooisel afhankelijke bodemschimmelnetwerk met het permanente bodemwater. Daardoor zijn grote gebieden onproductief en onleefbaar geworden. Dat levert naast migratie ook agressie op, waarbij onze aangeboren overlevingsdrang onze ondergang dreigt te worden. Want de huidige oorlogen, pandemieën en voedselschaarste moeten we ook tegen die achtergrond zien.

Al in 2006 stelt Jared Diamond in zijn boek "Ondergang" de dwingende vraag: 'Hoe kan onze wereld een ecologische zelfmoord voorkomen?' Wij zullen daarom moeten inzien dat wij met ons parasitaire gedrag in conflict zijn geraakt met het symbiotische Systeem Aarde. Wij zullen snel onze negatieve invloed moeten ombuigen in herstel. Want Systeem Aarde zal blijven voortbestaan, ook zonder ons.

Om te overleven zullen wij onze rooibouw op de groene natuur moeten vervangen door zeer grootschalige herbebossing waarin de natuurlijke kringlopen kunnen terugkeren. Met de zon als primaire energiebron, en met technologische voedselproductie is er dan wellicht ook nog een toekomst voor ons.

Literatuur

Robert Ardrey, *Waarom de buren nooit degen – Domeindrift en stamvorming bij mensen en andere diersoorten*. A.W. Sijthof, Leiden 1970.

Wim Baas, *Bodemschimmels en het stinzenplantenbiotoop*, *Oase* 1999(1), 11-14

Wim Baas, *Successie, humusophoping door mineralenschaarste*. *Oase* 2000(2), 17-19.

Wim Baas, *Een stinzenplantentuin in een veenpolder*. *Oase* 2003(1), 7-10.

Wim Baas, *Hoe planten overleven*. *OnzeEigenTuin*, Zomer 2013, 34-35.

Wim Baas, *Geven en nemen in de natuurtuin – Over planten en bodemschimmels*, *Oase* 2013(1), 15-18

Jarred Diamond, *Ondergang – Waarom zijn sommige beschavingen verdwenen en hoe kan de onze haar ondergang voorkomen?* Spectrum, 3^e druk, Utrecht 2006.

Maarten 't Hart, *Hoogzomer in april*. In: *Het vrome volk, De Arbeiderspers*, Amsterdam 1974.

Anthony Huxley, *Plant and Planet*. Allen Lane, Londen 1974.

James Lovelock, *2019 Welkom in het Novaceen – Hyperintelligentie, Gaia en de mens*. Atlas Contact, Amsterdam/Antwerpen 2020.

Lynn Margulis, *Symbiosis in Cell Evolution - Life and its environment on the early earth*. Freeman and Company, San Francisco 1981.

Jan Sapp, *Evolution by Association - A History of Symbiosis*. Oxford University Press 1994.

Matthijs Schouten, *Spiegel van de natuur – Het natuurbeeld in cultuurhistorisch perspectief*. KNNV-Uitgeverij/Staatsbosbeheer, 1^e druk, 2005.

Lewis Thomas, *The Lives of a Cell. Notes of a Biology Watcher*. New York: Viking Press, 1974. (Zie Jan Sapp, pp. 71-79).

Gemma Venhuizen, *De aarde*. BBNC- uitgevers, Amersfoort 2014.

Vervelde, G.J. (red.) *Productiviteit in Biologische Systemen – Symposiumverslag KNAW*, Amsterdam, Pudoc, Centrum voor landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen 1975.

VPRO-tegenlicht, *James Lovelock 100 jaar*. Televisie-interview, 24-01-2021.

[Bijlage 1] Kooldioxide en fotosynthese in oceanen en op land.

In oceanen en zeeën levert een toename van CO₂ meer biomassa, door een verhoogde fotosynthese van algen, diatomeeën en van zeegras. Die leveren het meeste voedsel van deze planeet [*BBC Earth, The nature of our planet, afl. water; Canvas 12 maart 2022*]. Bij de verhoogde fotosynthese komt ook meer zuurstof vrij, dat verrotting in zee tegengaat (zie *Bijlage 3*).

In koud poolwater wordt het vermenigvuldigen van fytoplankton gestimuleerd door verpulverd sediment van afsmeltende gletsjers. Daar stimuleert extra CO₂ dus vooral de groei van algen. Via krill, algeneters wordt uiteindelijk het in de zee opgenomen CO₂ vastgelegd in poep en biomassa van de ooit talrijke, sterk zuurstofafhankelijke grote zeedieren, zoals walvissen. Daarbij is de CO₂ die via één walvis wordt vastgelegd te

vergelijken met 1500 bomen. Deze gevormde biomassa zakt in gemiddeld 80 jaar naar de bodem van de oceaan. Momenteel zijn de nu nog circa 3 miljoen walvissen goed voor het compenseren van tweemaal de CO₂-uitstoot van Nederland.

Ook in vitale koraalriffen wordt veel CO₂ vastgelegd. Maar dan door symbiotische algen van de rif-vormende koraaldieren. Ook deze aquatische vorming van biomassa vindt vooral plaats in het koele water. En in ondiep, niet vervuild zeewater wordt veel CO₂ opgeslagen als meters dikke lagen onder oeroude zee gras-weiden. Weiden die zich ooit vanuit één zaailing vegetatief hebben uitgebreid tot kilometers breedte. Ze worden begraasd door een grote diversiteit van zuurstof-afhankelijke dieren. Momenteel is van de zee grasweiden wereldwijd al 1/3 deel verdwenen. Daarom wordt nu in de Middellandse Zee geprobeerd een 16 km brede en circa 100.000 jaar oude zee grasweide rondom met nieuwe zaailingen te beschermen. Ook bij Australië werd recent een vierkante kilometers grote kloon van Zee gras ontdekt.

Ook op land creëren rivieren, met silicium van rots-erosie, de vruchtbaarste landschappen. Daarin worden CO₂-fluctuaties langjarig opgeslagen in de houtige biomassa van bossen en in veenmoerassen. Daarbij komt ook veel zuurstof vrij. We kennen de fossiele resten van zulke veenmoerassen als onze huidige steenkoolvoorraad. Gevormd tijdens het Carboon, een geologische periode toen er veel zuurstof in de atmosfeer zat (Venhuizen 2014, hst. 18).

Maar in zee verdwijnen door vervuiling en opwarming van de oceaan de CO₂-bindende algen, koralen en zee grasweiden. En op land verdwijnt de opslag van CO₂ door het kappen van bossen en verdrogen van venen. Zo komt uit elke gekapte boom CO₂ vrij in plaats van dat de boom CO₂ opneemt. En ontwateren en ontdooien van venen *levert* CO₂ in plaats van dat er CO₂ in wordt opgeslagen. En uit die ontdooide en ontwaterde venen komt naast CO₂ ook het *tachtig maal sterkere* broeikasgas methaan vrij. Methaan komt ook vrij bij het winnen en transporteren van aardgas. Vooral bij het transport als LNG blijkt zeer veel methaan vrij te komen door lekkende afsluiters. Anders dan CO₂ is methaan daarom wél een gevaarlijk broeikasgas.

Momenteel komt door verteren en verbranden van biomassa zoveel CO₂ vrij dat die niet meer kan worden opgenomen in de gehavende natuurlijke kringlopen op land en in de zee. De huidige toename van CO₂ in de dampkring is dus het *gevolg* van het klimaatprobleem, niet de *primaire oorzaak*. De werkelijke oorzaak is een door ontbossing en vervuiling veroorzaakt fotosynthesetekort. Een fotosynthesetekort door de afname van groene planten op het land, en van algen, fytoplankton en zee gras in de oceanen en zeeën. En dat fotosynthesetekort veroorzaakt naast een toename van CO₂ ook een afname van de zuurstofproductie. En gebrek aan zuurstof vormt nu al een bedreiging voor het zuurstof afhankelijke leven. Ook voor ons.

Voor Systeem Aarde betekent dit alles een tijdelijke onbalans, die door nieuw leven weer zal worden aangepast. Zeker is wel dat systeem Aarde zal blijven voortbestaan, ook zonder ons (vgl. bijlage 5).

[Bijlage 2] Een nieuwe ijstijd?

Tegengesteld aan de angst voor wereldwijde opwarming van het klimaat, zijn er ook wetenschappers die juist waarschuwen voor een nieuwe ijstijd in ónze streek. Dat zou samenhangen met het afsmelten van het Arctische zee-ijs. Het koude, naar de zeebodem dalende smeltwater is namelijk een belangrijke schakel in de waterketting van de warme golfstroom. Want dit diepe, koude water stroomt vervolgens over de zeebodem naar het Caraïbisch gebied. Daar komt het naar boven, warmt op vloeit als warme golfstroom terug richting het arctische gebied. Zou deze ketting door smelten van het zee-ijs onderbroken worden, dan zou ons milde klimaat kunnen omslaan. Met als gevolg juist veel lagere gemiddelde jaartemperaturen dan voorheen. Maar in het Caribisch gebied zal stagneren van de golfstroom juist tot hogere temperaturen van de zee lijden. Dat komt bovenop de opwarming door de grootschalige ontbossing in het Amazonegebied. Voor het wereldwijde klimaat speelt, naast de hitte van de zon, koel zeewater en koel zoet water onder de bossen de belangrijkste rol. Voor ons

voortbestaan is het cruciaal dat ook de zee koel gehouden wordt, 'want bij een oppervlaktetemperatuur boven de 15 graden kan het diepere, voedselrijke water door zijn hogere dichtheid niet meer opstijgen, en wordt de oceaan een woestijn met minder leven dan in de Sahara' (Lovelock 2020, p.82).

[Bijlage 3] Hoogzomer in april

Ook oceanen hebben een belangrijk invloed op het wereldwijde klimaat. Vooral door de fotosynthese en de ademhaling van groene algen. Hierop heeft ook de mens grote invloed, met name door milieuvervuiling. Een vroege discussie hierover lezen we in onderstaand citaat uit een autobiografisch verhaal van bioloog/schrijver Maarten 't Hart uit 1974. In een hoofdstuk getiteld "Hoogzomer in april". Daarin vertelt een algoloog aan de hoofdpersoon over zijn metingen op de Atlantische oceaan aan onder meer de zuurstofproductie van algen. De man is geobsedeerd door de zuurstofeconomie in de wereld:

'Door het vergroten van de woestijnen zijn er minder bossen om zuurstof te maken, -- hout van Borneo verkocht aan Japanse houtmaatschappijen, hierdoor wordt de vruchtbare bovenlaag blootgesteld aan erosie --spoelt weg'. Hij bracht het ineenschuiven van lente en zomer in verband met rottingsprocessen in de vervuilde oceaan. 'Daardoor wordt niet alleen de lucht boven de oceanen warmer als gevolg van de warmte die vrijkomt bij de rotting maar wordt ook het water warmer'. We hebben berekend dat als de zuurstofproductie in de oceanen afneemt tot 40% van de oorspronkelijke waarde, er geen weg terug meer zal zijn. Dan gaat alles rotten in de oceanen, zoals dat nu al op grote schaal gebeurt. Op een bepaald moment zal er geen zuurstof meer worden geproduceerd maar alleen nog worden geconsumeerd voor het rotten. De grote oerwouden zullen niet eens genoeg zuurstof kunnen produceren om dat rotten van voldoende zuurstof te voorzien. En dan zal het met alle leven op aarde gedaan zijn'. Ik zei: 'We moeten waarschuwen'. 'Nutteloos', zei hij 'ze geloven het niet, ze denken dat het voldoende is om de industrialisatie, het energieverbruik, en het lozen van afvalstoffen wat in te krimpen. ----ik vind het niet erg dat de mens van de wereld verdwijnt, alleen jammer dat dan ook alle planten en dieren zullen verdwijnen, behalve wat organismen die geen O₂ nodig hebben, zoals zwavelbacteriën.' ---'Maar de mens', zei ik. 'Misschien zullen uit bacteriën weer nieuwe levensvormen ontstaan en dan kan de evolutie opnieuw beginnen'. 'Maar', zei hij met stemverheffing, 'Het is te hopen dat er niet weer een soort ontstaat zoals de mens. Het is goed dat nu een soort zal verdwijnen die zo schaamteloos alle andere diersoorten en planten heeft vernietigd en die zo volstrekt gewetenloos de aarde heeft geplunderd'. ---

[Bijlage 4] Endofytische schimmels

Planten zijn, vanwege hun genetisch-evolutionaire achtergrond te beschouwen als halve schimmels. Als "chimeren", vanwege hun geïntegreerde genen van alg en van schimmel. Vandaar dat planten goed communiceren met de externe schimmels van het bodemschimmel-netwerk. Via het sponsachtige uiteinde van de met bodemschimmels doortrokken "mycorrhiza", letterlijk schimmelwortel, als gemeenschappelijk orgaan. Afhankelijk van de omstandigheden blijven de schimmels daarin gescheiden van de levende cel-inhoud van de planten, of dringen ze daarin door zodat ze door de plant als voedsel kunnen worden opgenomen. De integratie tussen plant en vrij levende schimmel kan zich ook uitbreiden tot de hele plant, vanaf de wortel tot in de bladeren. Het water transporterende vermogen van die endofytische schimmels zou kunnen verklaren dat bomen tot 100 meter hoogte water kunnen toevoeren aan de verdampende bladeren op die hoogte. Want door onderdruk alleen kan dat maar tot maximaal circa 10 meter. Planten ondervinden van die suiker-consumerende schimmels geen nadeel zolang ze beschikken over een fotosynthese-overschot. Maar als in de herfst de suikerproductie afneemt worden de bladeren door een kurkbandje afgesloten van watertoevoer. Dan gaan de endofytische schimmels het blad verteren, al voordat het wordt afgestoten. De verterende bladeren vallen dan op de door herfstregens geactiveerde verterende strooisellaag, waar de endofytische schimmels zich kunnen aansluiten op het bodemschimmel netwerk. Zo komt de biomassa en de mineralen van het herfstblad via een

gesloten schimmel-kringloop weer beschikbaar voor de dan op gang gekomen groei van vroegbloeiende bosplanten. Die zijn als mycorrhizale bol-, knol- en wortelstokgewassen ook op het bodemschimmelnetwerk aangesloten.

[Bijlage 5] Systeem Aarde is een symbiotisch systeem

Gaia, het Oudgriekse geloof dat “Moeder Aarde” ziet als één samenhangend organisme is ecologisch beter te begrijpen vanwege de verplichte symbiose van de bosvegetatie met het wereldwijde zoetwater bevattende bodemschimmelnetwerk (Baas 2022). Met de oceanen vormt het de “Watermantel van Moeder Aarde” waarvan al het andere leven afhankelijk is. Hierin past de waarneming dat grootschalige ontbossing - vooral in warme gebieden - via verdroging wereldwijd doorwerkt, ook in de oceanen. Vooral via fysische en biochemische processen die gebaseerd zijn op verdamping, condensatie en stroming van water.

Ook von Humboldt (1769-1859), de “uitvinder van de natuur” zag de aarde als één samenhangend organisme, een kosmos.

In de jaren rond 1970 en 1980 waarschuwden milieuactivisten voor de gevolgen van industriële activiteiten en van kernenergie. Ook zij argumenteerden dat organismen én hun fysische omgeving sterk gekoppeld waren, in een wereldwijd dynamisch controlesysteem. Uit nieuw wetenschappelijk onderzoek bleek dat micro-organismen een belangrijke rol hadden gespeeld in de evolutie voorafgaand aan het ontstaan van hoger leven [Lewis Thomas 1974, Lynn Margulis 1981]. Mitochondriën en chloroplasten stammen bijvoorbeeld af van symbiotische bacteriën. Ze leveren de energie voor cellen, of suikers en zuurstof in fotosynthetische cellen. Volgens Lewis Thomas is de angst voor micro-organismen dus misplaatst. Ziekten door pathogenen zijn geen regel, maar zouden te wijten zijn aan mislukte symbiose. Hij zag de Aarde, gezien vanuit de ruimte als een georganiseerd levend systeem, aangepast aan de zonne-energie. Met de atmosfeer als beschermende buitenmembraan, die gevormd wordt door de biosfeer.

Ook James Lovelock beschreef de aarde vanuit evolutionaire inzichten als één complex, adaptief systeem dat hij Gaia noemde. Hij deed al in de midden '60er jaren ruimteonderzoek bij NASA. Onderzoek of Mars bewoonbaar kon worden gemaakt voor de mens. Dus naar de atmosfeer van Mars. Want als Mars levenloos was, dan weerspiegelde die atmosfeer een chemisch evenwicht met alleen geochemische processen. Maar als er op Mars wel leven was dan zou die samenstelling daarvan afwijken, omdat organismen aan het oppervlak het als bron van grondstoffen en als depot van afval gebruikten. Uit spectroscopisch onderzoek bleek de atmosfeer van Mars dicht bij een chemisch evenwicht was, samengesteld uit 98% CO₂ en 2% stikstof, met slechts sporen van zuurstof. De Aarde daarentegen week daar sterk vanaf, met slechts sporen van CO₂, 79% stikstof en 21% zuurstof. In 1972 beschreef Lovelock Gaia als een actief controlesysteem. In 1973 ging hij samen met Lynn Margulis werken aan de Gaia-hypothese dat de biosfeer zag als een actief controlesysteem was dat de Aarde in homeostase kan houden. In tegenstelling tot Rachel Carlson 's *Silent Spring* uit 1962, geeft Lovelock 's Gaia een optimistischer kijk op natuur en op de plaats van de mens daarin. Natuur zou resistenter zijn tegen vervuiling dan algemeen werd aangenomen. Wel waarschuwde hij voor het gevaar van uitsterven van soorten door toedoen van over-populatie van mensen, als oorzaak van pesticidegebruik. Zoals hij botweg schreef: “er is slechts één vervuiling, mensen”.

Om te overleven zal de mens zich dus snel moeten aanpassen. In zijn laatste boek, uitgekomen in 2019, zijn 100^{ste} levensjaar is Lovelock daar duidelijk over (p.68):

‘Misschien was het wel de groeiende macht van oorlog die ons er dwaas genoeg toe heeft gebracht kernenergie te haten. Het Antropoceen is begonnen toen we de opgeslagen energie in steenkool, én zuurstof gebruikten om energie te genereren. Maar het was geen duurzame bron van energie en dus moeten we tijdelijk overgaan op het gebruik van kernenergie. Totdat we ofwel zonne-energie op een efficiënte manier kunnen omzetten, ofwel

uitvinden hoe we de bijna oneindige voorraad fusie-energie kunnen gebruiken---- onze daad van het vermijden van de opwekking van kernenergie is gelijk aan autogenocide. Niets laat de grenzen van onze intelligentie duidelijker zien. Ongehinderd door zelfs de sterkste traditionele godsdienst denk ik dat we een fundamenteel slechte daad verricht hebben door kernenergie voor oorlogvoering te gebruiken. Het misbruiken van wetenschap is beslist de grootste zonde.'

Zeer recent werd hij op 101-jarige leeftijd geïnterviewd, in een televisie-uitzending over dataïsme en de toekomstige mens. Zijn mening was toen: 'alle uitspraken van Darwin zijn nooit onderuitgehaald: de snelst reproducerende wint. Bijvoorbeeld de drone, met een veel snellere evolutie dan die van vogels' (VPRO, Tegenlicht dd. 240121).

Inmiddels hebben onbemande expedities naar Mars geleerd dat Mars nooit als toevluchtsoord voor de mensheid kan fungeren.

[Bijlage 6] Evolutie van de landplant

Na de eerste evolutie van "primitief" leven in zee ontstonden daaruit de eerste planten door fysiek en genetische samengaan van groene algen met aquatische schimmels. Planten hebben genetisch dus een dubbele achtergrond. Het zijn, net als korstmossen zogenaamde "chimeren" (Lit.XXX). De ronde groene cellen van planten zijn gebaseerd op het DNA van de alg. Ze zetten zonlicht om in energie, via de fotosynthese. Het uit het schimmelijk afkomstige deel van het DNA regelt de opname en het transport van water en mineralen in planten, in langgerekte houtvaten, en van suikers en aminozuren door de bastvaten. Ook zorgt het "schimmel DNA", via de biosynthese van organische verbindingen als cellulose en houtstof (lignine), voor stevige celwanden. In huidige termen is het ontstaan van groene planten een win-win situatie, vergelijkbaar met het samengaan van een energiecentrale met chemische industrie en transport.

Landplanten konden zich pas vestigen nadat ook op land permanent water beschikbaar kwam. Daarvoor zorgden plant-afhankelijke bodemschimmels. Als mycorrhiza gekoppeld aan de wortels van de vaste planten leverden ze uiteindelijk het bodemschimmelnetwerk. Dat maakte duurzame plantengroei mogelijk zolang de aangesloten planten via hun fotosynthese suikers en dode biomassa aan de schimmels van het netwerk leveren. Op basis van dit systeem evolueerde het aardse leven al lang voordat de mensheid in zijn huidige vorm en aantallen verscheen, en kwam daarbij ingrijpende catastrofes te boven. Juist nu, aan het begin van een nieuwe fase in de evolutie van de mens, het digitale tijdperk, zal alles weer snel veranderen. Door de mens en zijn technologie. Maar niet zijn relatie tot de natuur en de natuurwetten. Want de mens is en blijft daaraan ondergeschikt. Wel zal de klimaatverandering vooralsnog ingrijpende en blijvende gevolgen hebben. Maar zonne-energie en groene planten zullen de basis blijven van het aardse leven, met of zonder de mens. Dezelfde chemische evenwichten zullen vooralsnog het klimaat bepalen. Met water in de hoofdrol, en een bijrol voor CO₂. Omdat kooldioxide wordt opgenomen bij de fotosynthese en vrijkomt bij de ademhaling kan toename van de CO₂ concentratie in de dampkring ook een indicatie zijn voor massale ontbossing en bosverbranding. En van verminderde opname in de oceanen, door algensterfte en rottingsprocessen door milieuvervuiling en/of temperatuurstijging van het water. Deze processen zullen ook van invloed zijn op de zuurstofconcentratie in de dampkring.