



Universiteit  
Leiden

The Netherlands

## Gaia en de zachte krachten van het leven

Westbroek, P.

### Citation

Westbroek, P. (1999). *Gaia en de zachte krachten van het leven*.  
Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/5402>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/5402>

**Note:** To cite this publication please use the final published version (if applicable).

# Gaia en de zachte krachten van het leven

Rede uitgesproken door

**P. Westbroek**

bij de aanvaarding van het ambt  
van hoogleraar in de Geofysiologie  
aan de Universiteit Leiden  
gehouden op 22 oktober 1999.



Meneer de Rector magnificus, Dames en Heren,

Ik zit nu vlak voor m'n pensioen en ben daarmee op een leeftijd gekomen waarop mijn verdere carrière mij worst zal zijn. En toch, nog steeds moet ik even slikken voor ik het woord in m'n mond durf te nemen: Gaia. Niettemin wil ik het in dit praatje juist daarover hebben. In de academische wereld is die naam besmet. Onderzoek in die richting wordt vaak in de kiem gesmoord en het is niet bevorderlijk voor je cv om je met dit geschifte gedachtegoed in te laten. De schrik zit er dus goed in. Maar nu al die zaken er voor mij toch niet meer toe doen is het alsof een psychische blokkade is opgeheven en wordt het me eindelijk duidelijk: natuurlijk, dat algemene onbehagen niet anders is dan valse schaamte. Niet de Gaiagedachte is geschift, maar de academische wereld zelf. Wat is hier aan de hand?

Het begon met de Apollomissie van 1969, toen voor het eerst een mens voet zette op de maan. Ik kan me de opgewonden spanning van die dagen nog goed herinneren. Het was de tijd van de Beatles en de Provo's. Het optimisme van de naoorlogse opbouwfase raakte uitgeput en de grenzen van ons vermogen om de wereld ordelijk in te richten werden zichtbaar. Maar de maanlanding leek met die twijfels de draak te steken. Hier werd het overtuigend bewijs geleverd van de onbegrensde mogelijkheden van het technische vernuft en van de Westerse superioriteit. Een nieuwe tijd van bloei was aangebroken.

En toen, ineens zagen we beelden die de maanwandelingen bijna deden vergeten. We keken in een spiegel en aanschouwden onszelf, voor het eerst vanuit de ruimte. We wisten wel, dat de Aarde rond was, dat er continenten en oceanen waren, wolken en ijskappen. Maar dit was heel iets anders. Die fijne schakering van zacht blauwe, groene en gele tinten, die wervelende witte wolkenlierten. En dan die pikzwarte achtergrond met fel stralende sterren. Wat we zagen was ons tehuis, ons unieke vaderland, wentelend in majesteitlijke eenzaamheid door de oneindige ruimte. Meer dan viereneenhalf miljard jaar geleden was dit hemellichaam uit sterrenstof geboren en al spoedig daarna was het tot leven gekomen. En wij, wat waren we anders dan brutaal apengebroad? Nog maar net waren we komen kijken en nu al dreigden wij dit oeroude en o zo kwetsbare juweel onherstelbaar te verwoesten.

Die beelden van de Aarde zijn nu ordinaire clichés geworden en het kost moeite om je hun oorspronkelijke betekenis nog voor de geest te halen. Maar het leidt geen twijfel dat ze het levensgevoel van miljoenen mensen eens en voor altijd hebben gewijzigd. In de jaren na de Apolloreis werden we ons collectief bewust van de kwetsbaarheid van het levensmilieu en van de risico's verbonden aan ongebreidelde technologische en economische groei.

Er kwam een proliferatie op gang van actiegroepen die het planetaire ecosysteem wilden behoeden voor zinloze en massale vernietiging.

## Gaia

Het was op de golven van dit nieuwe élan dat de Gaia-idee op kon duiken. En er was een onafhankelijke en visionaire onderzoeker voor nodig om die notie gestalte te geven en voor nader onderzoek toegankelijk te maken. Die onderzoeker heette James Lovelock en zijn nieuwe naam voor onze planeet was Gaia, naar de Griekse godin voor Moeder Aarde. Het was een stoutmoedig plan dat Lovelock ontvouwde en de woordkeus was een vondst. Gaia -- de kracht van die naam school in de onmiddellijke associatie met het beeld van onze mysterieuze planeet in de ruimte. Tegelijkertijd bevatte het concept van Lovelock de elementen voor een nieuwe wetenschappelijke theorie van de Aarde. Een theorie die de traditionele tweespalt tussen aard- en levenswetenschappen overbrugde en de mogelijkheid bood om de aarde als een samenhangend en georganiseerd geheel te bestuderen. Wat Lovelock voor ogen stond was een vrije wetenschap die brak met academische traditie van verkokerd onderzoek en die direct aansloot bij de latente verwachtingen onder het grote publiek. Popularisering in optima forma.

Die nieuwe wetenschap noemde hij geofysiologie. Daarmee refereerde hij aan een toespraak die een van de grondleggers van de moderne geologie, James Hutton, in 1785 hield voor de Royal Society of Edinburgh. Hutton zag toen al, dat je de aarde moet zien als een soort superorganisme en dat de juiste methode voor de bestudering van onze planeet de fysiologie was, de leer van de levensprocessen.

Met de publicatie van zijn eerste boekje over Gaia, in 1979, kon Lovelock nog niet veel meer aandragen dan enkele elementen van zijn nieuwe theorie, maar de hoofdlijnen waren al duidelijk. Allereerst kon hij wijzen op het uitzonderlijke karakter van de aardatmosfeer. Terwijl de atmosferen van onze buurplaneten, Venus en Mars, voornamelijk bestaan uit kooldioxide of CO<sub>2</sub>, is de lucht die wij inademen een reactief mengsel van zuurstof en stikstof, met sporen van CO<sub>2</sub>, methaan en zelfs waterstof. Iedere chemicus ziet onmiddellijk het fundamentele onderscheid. De gassen op aarde reageren met elkaar en met het aardoppervlak - het mengsel is heel instabiel, vergelijkbaar met de brandstof van een auto. Wat we op de andere planeten vinden lijkt meer op het gas dat de knalpot verlaat -- de energie is opgebruikt. We weten ook hoe dat rare mengsel nu juist op aarde komt: een combinatie van biologische en geologische processen. Die spuiten actief die vreemde gassen de atmosfeer in en houden het wankel evenwicht in stand. Als de aarde dood zou zijn, zou de atmosfeer in korte tijd net zo'n samenstelling krijgen

als die van Mars en Venus. Lovelock vergeleek onze atmosfeer met de pels van een beer. Ze houdt het leven in stand en zorgt voor een comfortabel klimaat.

Die pels is al heel oud en in de loop van de tijd is ze wel eens uitgevallen en verhaard, maar toch heeft ze zich altijd weer kunnen herstellen. Dat weten we, omdat het leven zich 3.7 miljard jaar lang zonder onderbreking heeft kunnen ontwikkelen. De omstandigheden moeten dus altijd binnen de nauwe beperkingen zijn gebleven die voor de instandhouding van het leven nodig zijn, ondanks kolossale milieurampen die zich in die lange tijd hebben voltrokken. Soms vernietigden regens van meteorieten vrijwel de gehele levende have van onze planeet. Dan waren het dramatische veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer en de oceanen die het levensmilieu vergiftigden. Daar komt nog bij dat sinds de tijd dat het leven ontstond de intensiteit van de zonnestraling met maar liefst 25% moet zijn toegenomen, in principe genoeg om de oceanen droog te laten koken. 'Het lijkt', zei Lovelock, 'of een auto met een geblinddoekte chauffeur op het spitsuur over de Rijnsburgerweg scheurt zonder brokken te maken.'

Volgens Lovelock is er maar één verklaring mogelijk. De aarde is georganiseerd. Een samenstel van wereldomspannende regelmechanismen houdt de omstandigheden comfortabel voor het leven, in weerwil van verstoringen van buitenaf. Maar hoe kan dat dan? Moeten we geloven in een goddelijke instantie die onze planeet zo mooi heeft ingericht? Overtreden we hier niet de grenzen van de wetenschap? Het antwoord is nee. Voor Lovelock is dit een geval van zelforganisatie, zoals dat vaak voorkomt in systemen die uit evenwicht zijn. De bijzondere toestand van de aarde is het automatische gevolg van de actieve interactie tussen het leven en z'n omgeving. Overleg komt er niet aan te pas en een *deus ex machina* heb je niet nodig. Het systeem houdt zichzelf in stand als een kaarsvlam.

Even leek het erop of het snode plan van Lovelock om een nieuwe aardwetenschap te creëren onmiddellijk aan zou slaan. Zijn boeken werden als warme broodjes verkocht en er tekende zich een begin af van een serieuze wetenschappelijke discussie. Maar al gauw kreeg de opkomende New Age beweging lucht van Gaia. Hier was een nieuwe godheid die ons van de ondergang kon redden. Er kwam een ware Gaia cultus op gang, compleet met Gaia meditaties, Gaia gebedsstonen, Gaia danstherapieën en Gaia T-shirts. Zo werd een briljante wetenschappelijke speculatie, geboren uit pure nieuwsgierigheid naar het mysterie van onze unieke planeet, getransformeerd in een geloofsartikel, een dogma zo dood als een pier. De reactie van de academische wereld laat zich raden. Geschokt gooide men

Lovelock op één hoop met New Age en daarmee was de kous af. Maar helaas, meteen was ook de kans verkeken om een nieuwe wetenschap van aarde en leven te creëren en leiding te geven in een publieke discussie van eminent maatschappelijk belang.

### **De wetenschap zit ook niet stil**

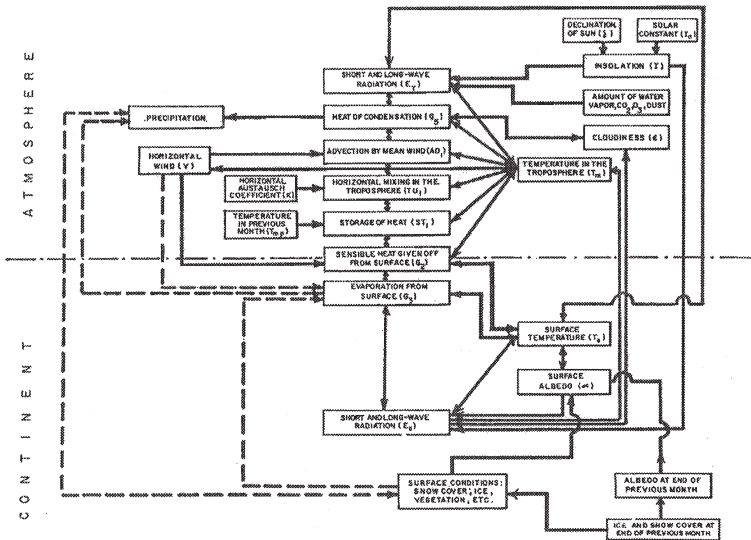
De academische wereld mocht nu wel Gaia in de prullenbak deponeren, maar hield ze zich daarmee afzijdig van de discussie over de kwetsbaarheid van onze planeet? Het tegendeel is waar. Onder de verzamelnaam 'Global Change' werden grootscheepse interdisciplinaire onderzoeksprojecten opgezet waaraan duizenden onderzoekers hun beste krachten gaven. Doel was om de werking van het mondiale ecosysteem te leren begrijpen en inzicht te krijgen in de toekomstige ontwikkeling van het klimaat. Geheel in de geest van de tijd was het einddoel niet fundamenteel, maar toegepast. Met de nieuwe kennis moest een nieuw, mondiaal beleid worden geformuleerd waarmee we de leefbaarheid van de aarde voor toekomstige generaties veilig konden stellen. De bekende wereldconferenties in Rio en Kyoto brengen dit nieuwe streven tot uitdrukking.

De enorme betekenis van het Global Change onderzoek kan niet worden onderschat. Klimatologen, atmosfeerchemici, oceanografen, wiskundigen, biologen, geologen en sociologen - ze vormen een bonte schare van onderzoekers die zich vroeger nauwelijks bewust waren van elkaars bestaan, maar die nu nauw samenwerken. Enorme stromen nieuwe informatie worden gegenereerd, vaak van zeer uiteenlopende aard. Die gegevens worden geïntegreerd in complexe computermodellen waarmee de ontwikkeling van het mondiale ecosysteem wordt voorspeld.

Honderden jaren wil men vooruitzien en zo'n 200.000 jaar terug. Dat lijkt veel, maar in het perspectief van de miljarden jaren oude geschiedenis van onze planeet is dat niets. En hier ligt juist de fundamentele tekortkoming van het Global Change onderzoek, in weerwil van de grote vernieuwingen die tot stand zijn gebracht. Global Change is afatisch, in die zin dat alleen het kortlopende geheugen functioneert. Men gaat voorbij aan de vraag hoe het zo gekomen is. Maar de aarde zelf heeft wel degelijk een geheugen en dat is van kolossale omvang. Net als bij onszelf wordt het gedrag van onze planeet in belangrijke mate door dat langlopende geheugen bepaald. Als dat geheugen ergens opgeslagen is, dan is dat juist in datgene wat onze planeet zo uniek maakt in het zonnestelsel: het leven. De enorme invloed van het leven op het mondiale klimaatsysteem is op zo'n korte tijdschaal volstrekt onvoorspelbaar. Alleen als we proberen om de ontwikkeling in z'n geheel te overzien kunnen we iets te weten komen over de wetmatigheden die aan die biologische

invloed ten grondslag liggen. Ik ben daarom van oordeel, dat het miljarden verslindende Global Change onderzoek aan zijn doel voorbijschiet en alleen kan leiden tot een oppervlakkig inzicht in het klimaatsysteem. U ziet hoe gevaarlijk het is om zich bij wetenschappelijk onderzoek al te zeer door beleidscriteria te laten leiden.

Er kleeft nog een bezwaar aan deze respons van de academische wereld op de schok van herkenning die ons beving toen we voor het eerst onszelf vanuit de ruimte zagen. Als je het resultaat van al het onderzoek na meer dan tien jaar tracht te overzien, dan krijg je een beeld dat een beetje lijkt op figuur 1. Niet proberen te lezen. Ik wil hiermee alleen maar de ontakeling aangeven van het beeld van onze majesteitelijke, levende planeet. Prachtig onderzoek, maar who cares? Het leven is tot een onbeduidend schakeltje gereduceerd. Te moeilijk! En van de immense geschiedenis van de aarde is nog maar een flintertje over. Misschien, misschien was Gaia toch zo gek nog niet.



Figuur 1

### Gaia is een top-down systems benadering

De Gaia theorie mag dan wat last hebben van New Age, de afatische politici hebben er geen vat op. Hier heerst de gewone, fundamentele wetenschap. Gaia heeft betrekking op de volle 4.6 miljard jaar waarin de aarde bestaat en de interactie tussen het leven en z'n levenloze omgeving staat centraal. Het is immers juist uit die interactie dat de zelfregulatie voort zou moeten komen.



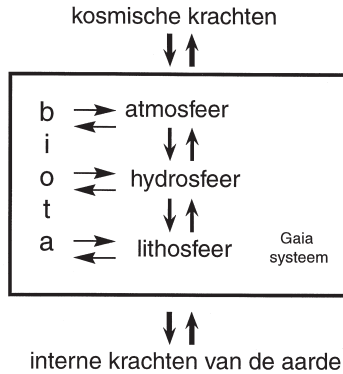
Voor de realisatie van Lovelocks nieuwe wetenschap, de geofysiologie, is een samengaan tussen de geologie en de biologie onontbeerlijk.

Tot op dit moment is de geologie overwegend een fysisch georiënteerde wetenschap. Eigenlijk beschouwt ze de aarde als een soort superzandbak, en dat is toch bepaald geen superorganisme. Anderzijds schetsen biologen en paleontologen ons een imponerend beeld van de evolutie, maar voor hen blijft het leven toch een wereld apart en de geodynamische betekenis ervan blijft op de achtergrond. Afzonderlijk kunnen die vakken het geheel eigen karakter van de aarde niet begrijpen. Ze hebben elkaar nodig. Hoe moeten we ons dat voorstellen? Wat is dat dan, geofysiologie?

Wederom was het Lovelock die aangaf waar het om gaat. Hij zei: als we willen weten in hoeverre er sprake kan zijn van zelfregulatie van de aarde dan is er maar één goede benadering mogelijk -- 'a top-down systems approach of life on earth.' Het is belangrijk om hier even bij stil te staan. Gaia is dus geen dogma, het is in de eerste plaats een benadering, een nieuwe methode waarmee we de aarde moeten bestuderen. Die methode is top-down. Dat wil zeggen dat we de aarde primair als een geheel beschouwen en niet in de details moeten blijven steken. We bekijken de aarde als de Apollo-astronauten vanuit de ruimte. Maar hoe dan? Als een systeem, als een geheel van onderling samenhangende en op elkaar inwerkende onderdelen. We onderzoeken het gedrag van die onderdelen en maken dan modellen waarmee we het resultaat van die interacties kunnen bestuderen. Alleen zo kunnen we iets leren over het gedrag van het gehele systeem gedurende de geologische tijd.

Tenslotte is het niet voldoende om de aarde te beschouwen als een fysisch-chemische reactor waarin het ook leven nog een bescheiden rol is toegedacht. Het leven is een geologisch proces dat ooit spontaan uit de fysisch-chemische interacties op aarde is voortgekomen en daarna in steeds toenemende mate het bijzondere karakter van onze planeet heeft bepaald. Vandaar dat de wisselwerking tussen aarde en leven een centrale rol moet spelen in het onderzoek.

Een voorbeeld is figuur 2. Het systeem is hier de buitenkant van de aarde. We zien de atmosfeer, de hydrosfeer (d.w.z. de oceaan) en de lithosfeer, zeg maar de aardkorst. De pijltjes geven aan dat die onderdelen op elkaar inwerken. De biota, dat is de levende have van de aarde, en die heeft wisselwerkingen met alle drie de andere onderdelen. De ontwikkeling van de buitenaarde wordt dus door al die wisselwerkingen bepaald. Bovendien zien we dat het systeem als geheel nog beïnvloed wordt door kosmische krachten, vooral natuurlijk de zonnestraling, en door interne krachten van de aarde. Die zorgen voor vulkanisme en het reliëf op aarde - gebergten, oceanen, enzovoort. Lovelock zou zeggen: als je dit nu goed modelleert kun je heel wat over Gaia te weten komen.



*Figuur 2*

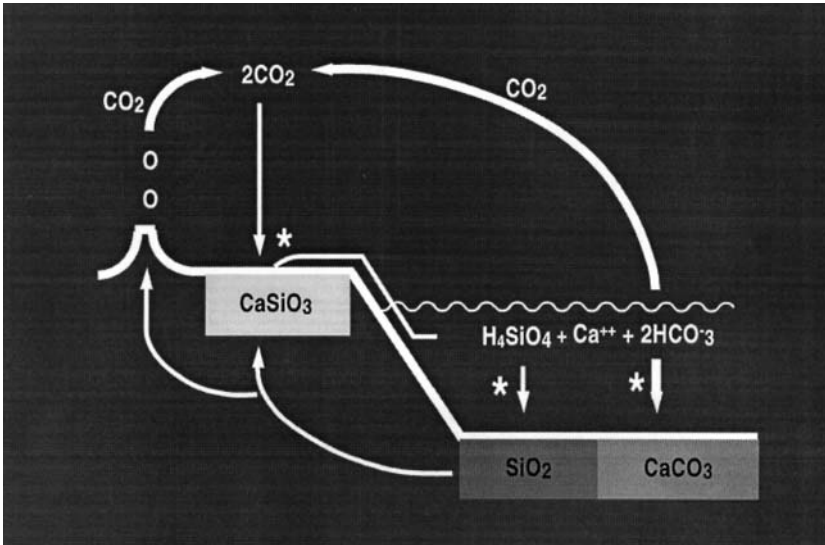
interne krachten van de aarde

### Is er een trend in de evolutie?

Het wordt tijd dat ik met een enkel voorbeeld de zaak wat verduidelijk.

Laatst las ik een boekje van de bekende paleontoloog Stephen J. Gould, met de titel: 'Full House'. Gould verzet zich daarin tegen het idee de evolutie ooit begonnen is met kleine en eenvoudige organismen en dat daaruit in de loop van de tijd steeds complexere en 'hogere' levensvormen zouden zijn ontstaan. En uiteraard zou ons zelf dan de eer te beurt vallen de kroon van de evolutie te vertegenwoordigen. Dat vooruitgangdenken is typisch 19e eeuws, zegt Gould, en helemaal uit de tijd. Er is trend en er is geen vooruitgang. We kunnen alleen vaststellen dat op iedere plaats waar leven voor kan komen ook leven is. En dat is altijd al zo geweest. Het huis is vol. En dat leven bestaat met name uit bacteriën. Die doen bijna al het werk, en ze zijn daarom ook verreweg het belangrijkste. De rest is bijzaak, of het nu spitsmuizen, planten, mensen of dinosauriërs zijn. Voor het grote geheel zijn die van marginaal belang. De evolutie is dus meer een kwestie van permutaties van een bestaand grondthema dan een ontwikkeling naar een steeds hoger niveau van organisatie.

Je kunt het hiermee eens zijn of niet, maar ik moet toegeven dat dit idee van Gould aardig overeenkomt met het beeld dat in de biologie aan het ontstaan is over de evolutie in het groot.



*Figuur 3*

### De calcium-silicaat-carbonaat cyclus als een thermostaat zonder leven

Laten we nu eens zien wat de geofysiologie hierover zegt, met z'n 'top-down systems approach of life and earth'. Ik beperk me nu maar tot een enkel voorbeeld, de zogenaamde calcium-silicaat-carbonaat cyclus. Ik ben bang dat het nu een klein beetje chemisch wordt, maar ik zal proberen het zo uit te leggen, dat U het toch kunt begrijpen. De cyclus staat afgebeeld in figuur 3. We zien rechts de oceaan en links het continent. Ook de diepe aarde en de atmosfeer komen in de figuur voor. Het leven is aangegeven met een drietal sterretjes. U ziet, alle elementen die nodig zijn voor een top-down systems approach of life and earth zijn voorhanden.

Op het continent komen grote hoeveelheden calcium silicaat ( $\text{CaSiO}_3$ ) aan het oppervlak. Dat is een belangrijk bestanddeel van allerlei gesteenten zoals basalt. In de aanwezigheid van lucht en water is die verbinding heel instabiel. Het spul verveert gemakkelijk en lost op. Daarbij worden twee eenheden kooldioxide, of te wel  $\text{CO}_2$ , uit de lucht opgenomen. De opgeloste verweeringsproducten, twee eenheden bicarbonaat ( $\text{HCO}_3^-$ ), één calcium en één silicazuur ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) worden met rivieren van het continent af de oceaan ingespoeld. Die oceaan kan maar niet steeds meer van die stoffen opnemen. De zaak kan alleen maar door blijven draaien als er net zoveel de zee uitgaat als erin komt. En dat gebeurt ook, min of meer. In het zeewater reageren calcium en bicarbonaat met elkaar en vormen kalk,  $\text{CaCO}_3$ , en  $\text{CO}_2$ . De kalk

wordt op de bodem van de zee afgezet. En de CO<sub>2</sub> gaat de atmosfeer in. Het silicazuur verdwijnt uit de zee doordat silica op de bodem sedimenteert.

Nu gaan de krachten in de diepe aarde aan het werk. De oceaانبodem schuift onder het continent en de sedimenten die erop liggen worden in de diepte van de aarde onder grote druk verhit. De kalk en de silica gaan nu op hun beurt reageren en vormen weer calciumsilicaat en CO<sub>2</sub>. Die CO<sub>2</sub> ontwijkt via vulkanen naar de atmosfeer en het calcium silicaat wordt naar het oppervlak gevoerd. Een nieuwe cyclus kan beginnen.

Ik hoop, dat U het algemene principe een beetje begrijpt. Alle stoffen in het systeem worden gerecycled en er gaat niets verloren. Kijk bijvoorbeeld nog eens naar de CO<sub>2</sub>. Bij de verwerking worden er twee eenheden van opgebruikt en die komen weer keurig terug: één bij de vorming van kalk en de ander via de vulkanen. In principe kan het systeem dus miljarden jaren doordraaien zonder dat er iets verandert. Maar in de werkelijke geologische geschiedenis voltrokken zich toch grote veranderingen in dit systeem -- en dat is nu juist waar het hierom gaat.

Cruciaal in dit verhaal is de rol van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer. Zoals u misschien weet is dit een belangrijk broeikas gas. Hoe hoger het CO<sub>2</sub> gehalte in de lucht, des te warmer is het klimaat. Een ander belangrijk aspect dat u moet begrijpen is dat dit schema is opgebouwd uit twee processen die op geheel verschillende tijdschalen werken. De verwerking en de sedimentatie stellen zich in op tijdschalen van enkele duizenden jaren, maar wat zich afspeelt in de diepe aarde werkt op tijdschalen van miljoenen jaren. Die twee processen zijn dus ontkoppeld, zodat de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die de vulkanen naar buiten spuwen onafhankelijk is van wat er aan het aardoppervlak en in de oceaan gebeurt.

En nu komt het: stel, de aarde is koud en op een bepaald moment blazen de vulkanen een geweldige stoot CO<sub>2</sub> de atmosfeer in. Het klimaat wordt daarvoor warmer. Bij zo'n verhoging van de temperatuur gaan alle chemische reacties sneller verlopen. En dat geldt natuurlijk ook voor het verweringsproces. Daardoor wordt de extra CO<sub>2</sub> onmiddellijk uit de atmosfeer weggezogen. En dat leidt juist weer tot een afkoeling van het klimaat. Wat we hier zien is een wereld-omspannend regelsysteem van het klimaat, een thermostaat voor de hele aarde. Afwijkingen van het CO<sub>2</sub>-gehalte in de atmosfeer worden automatisch te niet gedaan.

## De rol van het leven

Als we hier inderdaad een mechanisme bij de staart hebben dat werkt als een mondiale thermostaat, is dat dan niet een onderdeel van Gaia? Maar hoe komt het dan dat dit mechanisme werkt zonder dat er leven aan te pas komt? Het antwoord is dat zo'n klimaatregulatie inderdaad zou optreden als we het leven van de aarde zouden verwijderen en de rest precies hetzelfde zouden laten. Maar in werkelijkheid heeft het leven een diepe invloed op vele deelprocessen van de cyclus. Ik heb drie van die processen in de figuur met een sterretje aangegeven. Laten we eens wat nauwkeuriger kijken naar één van die sterretjes: het verweringsproces.

Want wat gebeurt er zodra gesteenten aan het aardoppervlak verschijnen? Onmiddellijk worden ze overwoekerd door micro-organismen, korstmossen en tenslotte vaatplanten. Die spannen samen om de voedingsstoffen die ze nodig hebben aan de mineralen te onttrekken. Een geraffineerd arsenaal van trucages wordt aangewend om het gesteente zo snel mogelijk te vermalen en leeg te zuigen, tot er alleen een levende brei van klei en zand van overblijft. De lekkere hapjes wisselen daarna steeds van eigenaar, verspreiden zich zo over het hele continent en bemesten tenslotte de oceaan. Verwerking is de mijnbouw van het leven en we eten allemaal mee.

En onze calcium silicaat, wat gebeurt daarmee? Het reageert met CO<sub>2</sub>, dat hebben we gezien. Maar van dat gas zit maar heel weinig in de atmosfeer. De verweerders zuigen het CO<sub>2</sub> op uit de lucht en pompen het in de grond. Op microschaal kan de concentratie daar in die bodem-brei tot ongekende hoogte oplopen. En het calcium silicaat is in een minimum van tijd verteerd. Dat sterretje links in figuur 3 betekent dat de verweerders de afbraak van calciumsilicaat vele malen versnellen.

Stel nu weer, dat het koud is op aarde. De verweerders staan er zieligjes bij. Maar nu komt onze CO<sub>2</sub> stoot uit de vulkanen, het wordt warmer en onmiddellijk rijst de verwerking de pan uit. Onze thermostaat is vele malen efficiënter geworden en het klimaat is keurig aangepast aan de behoeften van het leven. Dat is pas Gaia!

## Trend in de verwerking

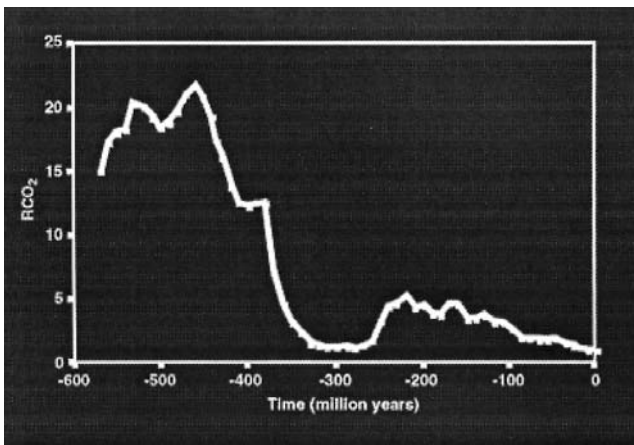
Onze paleontoloog Steven Gould dacht dat er geen trend is in de evolutie. Maar wat is zijn visie beperkt. Hij kijkt alleen maar naar de organismen zelf en mist onze top-down systems approach. Laten we nu eens kijken hoe de evolutie van de calcium carbonaat silicaat cyclus is verlopen.

De geochemicus Robert Berner heeft een ingenieus model ontwikkeld van die cyclus en daarmee is hij in staat om een ruwe schatting te maken van de concentratie van de atmosferische CO<sub>2</sub> gedurende de afgelopen 600 miljoen jaar. Zijn conclusie is verbijsterend. Kijk maar naar figuur 4. In de periode

van 600 tot 450 miljoen jaar geleden was de CO<sub>2</sub> concentratie 15 tot 20 maal zo hoog als nu. En dan, tussen 450 en 300 miljoen jaar geleden, treedt een daling op tot het huidige niveau is bereikt. We zitten dan in de Permo-Carbonische ijstijd. Nadien gaat de CO<sub>2</sub> nog even naar boven en dan gaat het weer bergafwaarts tot de ijstijd waar we nu in zitten.

Wat kan die spectaculaire daling tussen 450 en 300 miljoen jaar geleden hebben veroorzaakt? Er zijn verschillende factoren in het spel, maar Berner kan aantonen, dat de evolutie van de vaatplanten hier een doorslaggevende rol heeft gespeeld. Juist in die periode konden uitgestrekte wouden het continent gaan bedekken. En het lijkt geen twijfel dat de planten met hun diepe wortels de verwerking van calcium silicaat enorm versnellen.

Hebben we hier een trend of niet? Ik laat het antwoord maar aan U over.



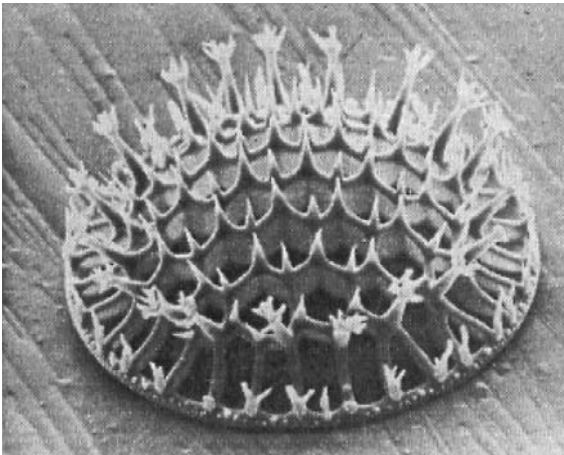
*Figuur 4*

### De trend van silica

Voor de andere twee sterretjes in figuur 3 geldt hetzelfde. Neem de afzetting van silica in de zee. Zo'n 600 miljoen jaar geleden sloeg het spul gewoon chemisch uit het zeewater neer. We vinden er nog dikke korsten van in de gesteenten van die tijd. Je kunt je voorstellen, dat die spontane korstvorming hoogst onaangenaam was voor alle leven in de zee. Alle tere weefsels die aan het zeewater waren blootgesteld dreigden erdoor te worden beschadigd. Maar wat zien we? In de loop van de miljoenen jaren verschijnen er steeds meer organismen in de zee die de opgeloste silica uit het zeewater wegzuigen en er hun ragfijne skeletjes van maken. Ik denk aan de sponzen, de radiolariën

en vooral aan die wonderlijke drijvende algjes, de diatomeeën met hun gigantische bloeien in de Recente oceaan. Eén zo'n silicaschaaltje, een honderdste millimeter groot, ziet U in figuur 5. Die ragfijne structuur slaat niet spontaan neer uit het zeewater maar wordt met grote precisie in de cel geassembleerd. In de Recente oceaan wordt alle silica door zulke organismen uit de zee weggezogen en verwijderd. Het gevaar is overwonnen. Spontane neerslag komt niet meer voor. Het zeewater zelf is sterk onderverzadigd – een silica-vacuum.

Hebben we hier een trend of niet?



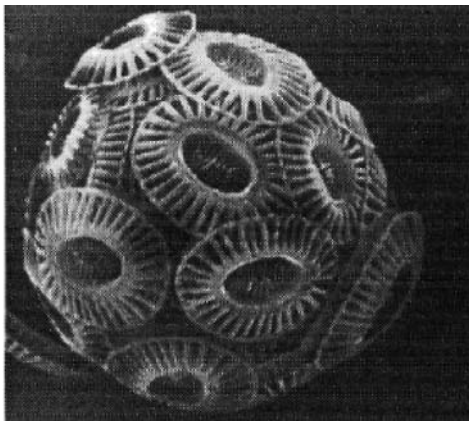
*Figuur 5*

### **De trend van kalk**

Ik eindig met de sedimentatie van kalk, een onderwerp dat mijzelf zeer na aan het hart ligt. Ook dat spul sloeg meer dan 600 miljoen jaar geleden rechtstreeks uit de zee neer, veelal zonder tussenkomst van organismen. Daarnaast vind je vaak onregelmatige kalk bouwsels van bacteriële gemeenschappen. Ook hier vormde de spontane overkorsting een bedreiging van het leven in de zee. Maar de respons van de biota verliep een tikje anders dan in het geval van de silica. In het verloop van de evolutie kwam een merkwaardige, bijna intern tegenstrijdige, ontwikkeling op gang. De zee zit tegenwoordig vol slijm, en die stof, door ontelbare zeorganismen uitgescheiden houdt de spontane neerslag van kalk geheel tegen. De kalk wordt dus niet weggezogen en de zee is geen vacuüm van calcium en bicarbonaat, zoals dat bij de silica het geval was. De korstvorming wordt geïnhibeerd.

Voor de rest lijkt de evolutie van kalk op die van silica. Binnenin hun weefsels maken sommige van de organismen in de zee minuscule ruimten waarin de kalk wel neer kan slaan. En zo komt het, dat alle kalkvorming in zee nu precies gereguleerd is. En wat ik vooral zo aardig vindt is dat hetzelfde slijm dat de spontane precipitatie in de open oceaan voorkomt bij de kalkvorming voor de regulatie zorgt. Zo ontstaan de kunstige skeletten van dieren en algen. Een zo'n celletje, een organisme dat we in Leiden diepgaand bestuderen, ziet U in figuur 6. Ook kalkvorming is dus in de loop van de evolutie onder een streng biologisch regime gebracht.

Is hier een trend of niet?



*Figuur 6*

## **Conclusie**

In dit korte praatje kon ik maar een paar voorbeelden geven van trends in de evolutie van Gaia; ik zou zo nog geruime tijd door kunnen gaan. Maar in wezen komt het altijd weer op hetzelfde neer: de greep van de biota op de rest van het systeem wordt steeds groter. In onze figuur 2 betekent dat de pijltjes van en naar de biota steeds dikker worden. Je zou zeggen dat de ontwikkeling van de mensenmaatschappij mooi in dat beeld past.

Een andere les die we uit dit voorbeeld mogen leren is dat de biologie en de geologie op zich niet in staat om dit inzicht in de ontwikkeling van Gaia te geven. Die twee hebben elkaar nodig, ze zijn complementair, als de holle en de bolle kant van een lepel. Zonder geologie is er geen goede biologie mogelijk, en zonder biologie is er geen goede geologie. Zonder onze top-down systems approach of life and earth krijg je geen goed beeld van de ontwikkeling van de aarde en van de mechanismen die verantwoordelijk zijn voor het evolutieproces.



## De taak van de Universiteit

Nogmaals breng ik U in herinnering de schok van herkenning die miljoenen mensen overviel bij het aanschouwen van onze planeet vanuit de ruimte. En ook de nieuwe wetenschap van Gaia, de Geofysiologie, waarmee Lovelock die unieke ervaring levend wilde houden en het wezen van onze raadselachtige planeet beter wilde leren kennen. Hier werd ons een unieke kans gegeven om leiding te geven in een publiek debat over zaken die betrekking hebben op de fundamenteën van onze maatschappij. Achteraf gezien was de denigrerende reactie van de academische wereld laf en arrogant. Het concept van Gaia is verre superieur aan dat van Global Change, en ook de klassieke geologie en biologie schieten schromelijk tekort.

Er is veel veranderd sinds Lovelock zijn eerste boekje schreef. Wie goed oplet ziet een kentering in de appreciatie van Gaia, in weerwil van de nog steeds overheersende onwil in wetenschappelijke kring. Zo mogen wij er trots op zijn, dat onze eigen Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen de eerste was die Lovelock heeft geëerd met een grote prijs. Dat was de Dr. A.H. Heinekenprijs voor milieuwetenschappen en de toekenning vond al plaats in 1990. Er worden nu Gaia conferenties georganiseerd en we hebben zelfs een internationale Gaia Society. U kunt daar ook zelf lid van worden.

Maar ook de Universiteiten zijn veranderd. De tijd van alwetende professoren in onneembare ivoren torens is voorbij. We staan nu dichterbij de maatschappelijke realiteit dan voorheen en zijn verbonden aan een ondernemende Universiteit. Tot nu toe heeft dat ondernemerschap zich al te zeer gericht op de commercie. Let wel: ik heb niets tegen een goede samenwerking met het bedrijfsleven, maar je moet het niet overdrijven. Zoals het nu gaat dreigen we onze identiteit te verliezen. Studenten blijven weg, en waarom ook niet? Ze kunnen net zo goed een goede beroepsopleiding volgen. De fleur van het praesidium libertatis is aan het verdorren. Of, om mijn vriend wijlen Ted van Gennep te parafraseren: we dreigen een muurbloempje te worden op het feest dat leven heet.

Is een ander type ondernemerschap niet beter op z'n plaats? Is de tijd niet gekomen om ons te bezinnen op de oorspronkelijke doelstelling van de Universiteit: inhoud te geven aan de fundamentele waarden waarop onze maatschappij berust? Leiding te geven aan het publieke debat over zaken die ons allen raken? Juist in deze tijd van snel veranderende waardepatronen is dringend behoefte aan de kritisch stem van de wetenschap.

Ik noem een drietal punten waar het onderzoek naar Gaia zo'n debat zou kunnen bevorderen.

Ten eerste is daar het wijdverbreide euvel van het fundamentalisme. De wetenschap laat zien dat absolute waarheid niet bestaat en dat ons grote bescheidenheid past bij de omgang met de wereld om ons heen. Gaia is niet waar, het is alleen een nuttig begrip, een leiddraad voor het onderzoek. Waar het in ons leven op aankomt is niet absolute waarheid, maar waarachtigheid.

Ten tweede wijs ik op de gesels van racisme en nationalisme die steeds weer de kop opsteken en in de afgelopen eeuw ongekende schade en leed hebben veroorzaakt. In zijn boekje 'Terre-Patrie' schrijft de Franse filosoof Edgar Morin, dat we moeten afleren om Servië, Kosovo, Frankrijk of Nederland als ons vaderland te beschouwen, maar dat alleen de aarde zelf dat epitheton verdient. Me dunkt, dat het debat over Gaia dat besef alleen maar kan versterken. Onze fascinatie voor de aarde wordt er alleen maar groter door. Het is een aangrijpende gedachte dat Gaia niet kant en klaar is ontstaan, maar is gegroeid, geëvolueerd, met veel pijn en moeite en gedurende miljarden jaren. De wereld die wij mogen bewonen is een juweel, volstrekt uniek in het heelal.

Tenslotte verscherpt Gaia ons inzicht in de kwetsbaarheid van het levensmilieu en in de manier waarop het leven zelf zich tegen al te ernstige verstoringen teweeg stelt. 'De zachte krachten winnen in het eind', schreef Henriëtte Roland Holst. Als wij dan in het systeem moeten ingrijpen, laten we ons dan in diezelfde zachtheid oefenen.

## Dankwoord

Meneer de Rector magnificus, dames en heren,  
Als ik nu, achteraf, het verloop van mijn wat zonderlinge carrière overzie groeit in mij de overtuiging, dat vele, zeer vele, onzichtbare handen mijn leven hebben gedragen en dat mijn eigen actieve rol maar heel beperkt is geweest. Ik zou de mij toegemeten tijd verre overschrijden als ik al die mensen die mij het leven en werken mogelijk hebben gemaakt nu persoonlijk zou bedanken. En ik weet, dat ik velen onrecht doe als ik nu toch enkelen van hen heel in het bijzonder bedank.

Laat ik maar beginnen met de Leidse Universiteit; daar heb ik tenslotte het overgrote deel van mijn carrière doorgebracht. Dat was niet altijd even gemakkelijk, want de steun die ik hier kreeg hield meestal niet over. Maar achteraf, nu ik al die jaren overzie, ben ik de Alma Mater toch bijzonder dankbaar. Leiden is liberaal en dat betekent dat je hier vrijheid wordt gegeven. Ik kon altijd precies doen wat ik wilde -- en dat was precies wat ik nodig had voor de ontwikkeling van het hybride vak waarin ik geloofde. Ik heb hier ook ervaren hoe heilzaam het kan zijn om op het scherp van de snede te leven en niet te worden overladen met erkenning en geld. Je leert daarvan op

jezelf te vertrouwen en ontdekt nieuwe en vruchtbare organisatievormen waarmee het onderzoek tot bloei kan komen.

Aart Brouwer, jij hebt me de nodige steun gegeven op het cruciale moment, dat ik de overstap van de geologie naar de biochemie moest maken. Dat is voor mij van beslissende betekenis geweest. Ik denk ook met dankbaarheid aan de collegae uit de oude geologische subfaculteit, die deze stap altijd hebben gerespecteerd, ondanks het feit, dat ik maar weinig in hun midden kon verkeren.

Leen Bosch, jij hebt onze groep niet alleen gastvrij ontvangen, maar ons ook altijd door dik en dun gesteund. Jouw deur stond altijd open als er problemen waren en ontelbare keren heb ik bij je aangeklopt. Dat werden dan lange en altijd heel inspirerende gesprekken, die me de moed gaven om, zoals je het zelf zei, m'n rug te rechten en door te gaan. Zonder jouw enorme inzet was van dit initiatief niets terechtgekomen. Ik zend ook een saluutschot naar de vakgenoten in de biochemie en in het LIC, die deze vreemde eend in de bijt altijd hebben getolereerd.

Lieve Liesbeth en Hans de Vrind. Terwijl mijn gedachten altijd afdwaalden naar het hogere en algemene en ik krankzinnige projecten verzong, zorgden jullie ervoor dat we met beide benen op de grond bleven staan. Ik besef, dat ik jullie het leven vaak erg zuur heb gemaakt. Alle echte, harde resultaten die ooit uit onze groep zijn voortgekomen zijn dankzij jullie uitzonderlijke steun en vaardigheden tot stand gekomen. Jullie hebben altijd, met je onnavolgbare humor en menselijke warmte de uitstekende sfeer in onze groep weten te bewaren.

En dan zijn er de vele postdocs, promovendi en studenten die de riskante stap hebben gewaagd om hun carrière binnen onze wankelende onderzoeksgroep te beginnen. Zij deden het zo moeilijk grondwerk waar het succes van de groep op gebaseerd is. Ik kan maar enkele namen noemen: Paul van der Wal, Ton Boorman, Kees Linschooten, Anne-Marie Fichtinger, Peter van Emburg, Matthew Collins, Fred Boogerd, Paul Corstjens, Frédéric Marin, Michiel de Kuiper, Walbert Bakker en nu weer Geert-Jan Brouwers. Elk van jullie heeft, op heel eigen wijze, aan het werk van de groep een nieuwe bladzij toegevoegd.

In het bijzonder denk ik aan Gerard Muyzer, die bij ons een heel eigen onderzoek tot grote hoogte heeft gebracht en nadien nieuwe benaderingen heeft ontwikkeld die overal ter wereld worden toegepast. Gerards bijdrage tot het vak kan niet worden onderschat en het wordt hoog tijd, dat hij daarvoor ook de nodige internationale erkenning verkrijgt.

En dan al die medewerkers van GEM, over de hele wereld verspreid en nu al meer dan honderd in getal, die zich in de afgelopen 10 jaar ingezet hebben voor ons onderzoek naar die miraculeuze alg die U in figuur 6 ziet afgebeeld. Ik dank ook de vele genereuze collegae en vrienden in binnen- en buitenland

die mij met eindeloos geduld in hun gedachtewereld hebben binnengeleid. Ik noem maar een paar namen: Jan van Hinte, Bas Kooijman, Marc Budding, Harry Priem, Hein de Baar, het duo Roel Riegman en Marcel Veldhuis, maar ook Philip Sandberg, Lynn Margulis, wijlen Bob Garrels en Jim Lovelock.

Het allermeeft gedenk ik mijn geliefde vrouw, van wie ik de naam niet zonder tranen kan uitspreken. Ik zal dat nu ook niet doen. In de 5 moeilijke jaren na haar overlijden zijn Mirjam, Hanna en Eva en hun gezinnen me tot grote steun geweest. Ik denk ook aan de lieve vriendinnen en vrienden die me door die moeilijke jaren hebben heengesleept en die ervoor hebben gezorgd dat ik de moed niet heb opgegeven. Hun liefdevolle steun was soms meer dan men van zijn naaste mag verwachten.

Ten slotte heb ik bij Judith de Jong mijn evenwicht hervonden. Wij lijden beiden aan de hyperamortitis, en hopen nimmer meer van deze kwaal te genezen.

### **Inauguratie**

Tenslotte wil ik nog een plechtige handeling verrichten. Dit is een inaugurele rede en dan moet er toch iets worden geïnaugureerd.

Een paar dagen terug hebben we met een groepje collegae onder het genot van een glas champagne het 'Gaia Research Center for Biogeology' (GRC) opgericht. Het wordt een onafhankelijk, strak geleid instituut zonder vaste vestiging dat de beste onderzoekers ter wereld bijeenbrengt voor de verdere ontwikkeling van dit veelbelovende nieuwe gebied. Wij willen ook een voorbeeld stellen voor de Universitaire wereld door de publieke discussie over de maatschappelijke betekenis van het Gaia concept te entameren. Mijne heren gezagsdragers van deze Universiteit, ik reken op Uw steun bij de realisatie van dit initiatief.

Dit is dan het moment voor de plechtige inauguratie van dit Centrum.

Tik met geologenhamer.

Ik heb gezegd.

