

De Goudgroene Transitie

Basisprincipes van een zelfversterkend (agro-) ecologisch systeem, de centrale rol die planten en een rijk bodemleven hierin innemen en inzichten voor transformatie

Door: dr. Oane Galama (Galama Sustainable Solutions)

Zon, energiebron van het leven

De planeet aarde bestaat uit water, atmosfeer en aarde die op hun beurt zijn opgebouwd uit elementen. Deze elementen, in hun simpelste vorm ook wel atomen genoemd, gaan onderlinge verbindingen aan en vormen zo moleculen. Deze kunnen bestaan uit combinaties van enkele tot miljoenen atomen. Wanneer er gesproken wordt over de elementaire bouwstoffen van organisch materiaal, worden deze moleculen vaak 'mineralen' genoemd. Mineralen kunnen zowel bestaan uit atomen van één element als uit atomen van meer elementen die een kristalstructuur vormen. Op een bepaald ogenblik is er ergens uit een combinatie van deze 'dode' anorganische basismaterie en een energiebron 'leven' ontstaan. Structuren die materialen en een energiebron konden gebruiken om zichzelf te reproducen. Dit leven ontwikkelde zich. Het werd steeds talrijker en vormde steeds complexere levensvormen. Samen vormden al die levensvormen een levend systeem dat een steeds grotere rol in de ontwikkeling van de planeet vervulde. Met biochemische processen veranderde het leven de samenstelling van de atmosfeer en daarmee ook het klimaat. Mineralen werden vastgelegd in organisch materiaal dat de opbouw van vruchtbare bodems mogelijk maakte, waardoor de bovenste grondlaag van structuur veranderde.

Het levende systeem vervult dus een sleutelrol in de 'natuurlijke' cycli van mineralen en water en het is de grote verbinder van energie uit het heelal met de materialenstromen op aarde. Deze verbinding komt in de eerste plaats tot stand tijdens de fotosynthese: de opbouw van biomassa (*groen*) uit mineralen gedreven door zonlicht (*goud*). Maar de verbinding is er ook weer bij de uiteindelijke afbraak van organische verbindingen terug naar hun minerale componenten. Tijdens deze afbraak gebruiken organismen de in de verbindingen vastgelegde zonne-energie en maken daarbij bepaalde vastgelegde mineralen weer vrij. Uiteindelijk komt alle vastgelegde energie vrij als warmte die wordt afgegeven aan het heelal dat met een temperatuur van ca. -270 °C fungeert als een koellichaam om de aarde. De aarde kan hierdoor worden gezien als een doorvoerstation van energie: ze ontvangt van de zon net zoveel energie als wordt afgegeven. De aarde ontvangt hoogwaardige energie, deze energie wordt opgevangen, vastgelegd en gebruikt. Tijdens het gebruik op aarde verliest de energie aan kwaliteit. Dat wil zeggen de capaciteit tot het verrichten van arbeid met deze energie verdwijnt, iets dat men in de natuurkunde ook wel exergieverlies noemt. Uiteindelijk wordt alle energie omgezet in omgevingswarmte (laagwaardige energie) en kan de energie op aarde niet verder worden gebruikt.

De zon voorziet al het leven en alle processen op aarde van energie. Naast de directe opname van stralingsenergie tijdens fotosynthese wordt zonne-energie ook indirect gebruikt, bijvoorbeeld in de vorm van het beschikbaar maken van zoet water. Het is de zon die sneeuw en gletsjers doet smelten en het zoute water uit de zeeën doet verdampen dat als regen via het land in de rivieren komt en grondwatervoorraden aanvult. Tijdens deze reis neemt het water de voor het leven belangrijke mineralen op, verwerking is dus een indirecte dienst van de zon. De wind die grond kan verwerken, wolken kan aanvoeren maar ook het zaad van planten verspreidt, is ook een afgeleide van zonne-energie. Hij ontstaat door ongelijke opwarming van het aardoppervlak, waardoor hoge- en lagedrukgebieden ontstaan. De zon verwarmt ook de bovenste grondlagen waardoor zaden gaan kiemen, micro-organismen ontwaken en het groeiseizoen kan beginnen. En er zijn nog vele andere manieren van indirecte zonne-energie te bedenken. Naast de zon zijn er nog twee fundamentele energiebronnen op aarde: warmtestraling afkomstig uit de afkoelende aardkern en zwaartekracht. Beide hebben een vormende invloed op het leven en zijn bepalend voor de ontwikkeling van de aarde. Denk bijvoorbeeld aan geologische cycli en getijden, beide essentieel voor het ecosysteem. Qua grootte vallen deze energiestromen echter in het niet bij de hoeveelheid energie die de aarde van de zon ontvangt.

De energie die de aarde van de zon ontvangt, stroomt deels door het 'levende systeem', wordt gebruikt om te leven en wordt ten slotte afgegeven aan het heelal als warmtestraling.

Autokatalyse

Het ecologische systeem is briljant ontworpen. Of misschien beter gezegd, 'ontwikkelt en organiseert zichzelf op briljante wijze', want het heeft een hoge mate van zelfregulerende capaciteit. Levende systemen vangen zonlicht en

leggen het vast als biochemische energie in biomassa. Geniaal in de zin dat deze nieuwgevormde biomassa, bijvoorbeeld bladeren of wortelstelsel, niet gewoon dienstdoet als 'energieopslag', maar ook zorgt voor een toenemende capaciteit tot energievastlegging. Hierdoor kan het levende systeem nog meer energie innemen waardoor de productie van biomassa in het gehele systeem kan toenemen. Het vormt een zelfversterkende spiraal waarin het product (hier plantenmassa) de reactie (hier fotosynthese) versterkt. Zo'n zelfversterkend proces staat bekend als '**autokatalyse**'. Het is deze eigenschap die ervoor zorgt dat verweerde bodems kunnen herstellen tot vruchtbare bodems (regeneratie). Een speciale vorm van autokatalyse is '**kruiskatalyse**': de aanwezigheid van een bepaald organisme heeft een stimulerend effect op de groei en aanwezigheid van een andere levensvorm. Dit stimulerend effect kan in vele richtingen werken, waardoor autokatalytische effecten gestapeld worden. In economische context zou het een prima beleggingsinstrument kunnen zijn.

Een voorbeeld van autokatalyse in de bodem: plantenresten en uitscheidingsstoffen uit de wortels (*exudaten*) worden door micro-organismen verteerd en de resten vormen uiteindelijk stabiele organische stof. Deze organische stof, die voor duizenden jaren koolstof en energie vastlegt, heeft geen directe invloed op het vergroten van de capaciteit tot fotosynthese, maar wel een sterk indirect effect. Door de fysieke eigenschappen is organische stof bevorderend voor de bodemstructuur, kan ze verontreinigingen opnemen, mineralenuitwisseling bevorderen en de capaciteit tot waterinfiltratie en waterberging van de bodem vergroten. Allemaal van groot belang voor het creëren van gunstige groeiomstandigheden voor de plant zodat deze meer zonlicht kan vastleggen in biomassa, meer organische stof in de bodem brengt wat uiteindelijk meer verwerkte en gestabiliseerde bodemorganische stof oplevert. Tegelijkertijd stimuleert deze cyclus ook de autokatalytische cycli van vele vormen van bodemleven, die op hun beurt ook weer een positieve invloed hebben op plantengroei en vorming van (stabiele) organische stof.

De natuur bestaat uit systemen in systemen, overal komen dit soort autokatalytische cycli voor en grijpen cyclische processen op elkaar in, werkelijk briljant. Maar dit betekent ook dat ingrijpen in zo'n systeem altijd onbedoelde consequenties heeft; soms is de uitwerking zelfs tegenovergesteld van wat men wil bereiken. ***Dit is de reden dat reductionisme - het terugbrengen van een systeem naar eenvoudige componenten en simpele interacties - niet werkt voor het levende systeem en al zijn subsystemen.*** Bestrijding van een bepaalde schimmel, plant of dier heeft altijd vele onbedoelde gevolgen die de robuustheid en kracht van het systeem als geheel ondermijnen. Of vaak is dit op dat moment al gebeurd en is de '*plaag*' of het '*onkruid*' enkel een expressie van de onbalans in het systeem. Door ingrijpen en verstoren van autokatalytische cycli en de stimulerende werking van een of meer producten uit deze cycli, kan er een neerwaartse spiraal optreden.

Maximaal vermogen

Het levende systeem is echter niet alleen maar gericht op het opvangen en vasthouden van zoveel mogelijk energie. Dat zijn enkel de randvoorwaarden voor overleving. Het gaat in de eerste plaats om zoveel mogelijk energie te gebruiken. Enkel wanneer energie gebruikt wordt, kunnen processen zich voltrekken en kunnen de vele '*functies*' (vervuld door specifieke levensvormen) van het levende systeem zich ontwikkelen. De vele functies in het levende systeem, of ze nu vervuld worden door ontelbare miljarden micro-organismen in de bodem, grote grazende zoogdieren, de grootste walvissen of welke levensvorm dan ook, voorzien het systeem als geheel van robuustheid.

Tot een bepaald punt geldt dat hoe complexer een natuurlijk systeem wordt en hoe meer relaties er tussen verschillende organismen zijn, hoe effectiever de opgevangen energie verbruikt wordt. Dit betekent dat dezelfde hoeveelheid aan opgevangen zonne-energie steeds meer nuttige '*arbeid*' verricht in het levende systeem voordat zij planeet aarde weer verlaat als lage temperatuur warmte. De '*exergetische*' efficiëntie neemt steeds toe. ***In het climaxstadium van een ecosysteem heeft het systeem maximale robuustheid door een balans in redundantie (meer actoren die gelijke functies kunnen vervullen) en energetische efficiëntie.*** Hierdoor is het systeem in staat externe veranderingen zo goed mogelijk op te vangen en wordt de kans op voortbestaan vergroot. Een systeem is echter nooit klaar, de systeemevolucie, dat wil zeggen de 'verbeteringen en aanpassingen', gaat altijd door. Dit is ook nodig, omdat ook de externe invloeden veranderen en er gebeurtenissen zijn die grote impact hebben op het systeem, zoals bijvoorbeeld vulkaanuitbarstingen, meteorietinslagen of overstromingen. ***Tijdens de (her-)opbouw van complexe levende systemen neemt de hoeveelheid energie die door het gehele levende systeem per tijdseenheid wordt verbruikt steeds verder toe. Dit staat bekend als het principe van het maximaal vermogen*** (vermogen = energieverbruik per tijdseenheid).

Er kan een analogie worden gemaakt tussen een ecosysteem en een economie. Hoe meer geld in een economie wordt gepompt en hoe gemakkelijker dit geld rondgaat van de een naar de ander, hoe meer mensen welvaart ervaren. De maatschappij floreert dan en er kunnen vele 'bonus'-functies ontstaan en in stand worden gehouden zoals (hoger) onderwijs, kunst, medische zorg, recreatie, etc. Wanneer het meeste geld echter wordt geparkeerd op bankrekeningen van weinigen, zal stagnatie van de economie optreden. In dit geval zullen velen tekorten ervaren waardoor ze niet langer alle processen uitvoeren, de ontwikkeling stopt en het systeem vervalt naar zijn basisfuncties, die al dan niet in stand kunnen worden gehouden. **Energie is het geld van de ecologie. Hoe meer de energie rondgaat en door hoe meer actoren zij vloeit, hoe meer het systeem als geheel zal groeien, ontwikkelen en floreren.**

Sabotage van het systeem

Eenvoudig gezegd: **van begin af aan vergroot het levende systeem zijn capaciteit om energie op te vangen en vast te leggen, de efficiëntie waarmee deze energie wordt gebruikt, en de snelheid waarmee deze energie wordt gebruikt zodat het systeem floreert.** De energie die wordt opgevangen en vastgelegd in planten, wordt vervolgens door het bodemleven en alle andere organismen gebruikt. Elke keer dat de energie van de een naar de ander gaat, gaat een deel verloren (als lichaamswarmte). Dit zijn onvermijdbare verliezen die bij elke energetische transformatie optreden. In de thermodynamica spreekt men van dissipatie van energie: nuttige energie wordt omgezet in niet meer te gebruiken energie. Het levende systeem wordt ook wel beschreven als een dissipatieve structuur en de organismen als dissipatieve elementen. Het is voor te stellen dat op een gegeven moment de onvermijdbare verliezen in het systeem en de energie die gebruikt wordt voor onderhoud van het reeds bestaande systeem gelijk zijn aan de hoeveelheid energie die wordt vastgelegd. Dan zal het levende systeem zich niet verder uitbreiden. Dit punt is voor het levende systeem op aarde nog nooit bereikt en zal naar mijn idee ook niet worden bereikt. Het leven zal zich altijd blijven ontwikkelen en evolueren zodat het systeem als geheel meer energie kan vastleggen en het vermogen tot gebruik hiervan zal toenemen. De natuur streeft altijd naar een onbalans in de richting van meer energie vastleggen dan gebruiken. Meer leven betekent dus meer ruimte voor het leven.

De autokatalytische cyclus wordt verbroken wanneer de capaciteit van het systeem om energie op te vangen en vast te leggen wordt gehinderd, waardoor het vermogen om mineralen te verzamelen en vast te leggen in organische stof verloren gaat. Dit is te zien in verweerde systemen waar 'al het leven' weggespoeld of weggewaaid is. Woestijnen, kale berghellingen, maar ook bijvoorbeeld na overbegrazing en vertrapping van graslanden of akkerland waar structuurbederf van de bodem heeft plaatsgehad door herhaalde bodembewerking en gebruik van chemicaliën die giftig zijn voor bodemleven en andere levensvormen. **Van alle organismen kunnen enkel mensen lokale systemen zodanig beïnvloeden en beheren dat autokatalytische processen niet langer verlopen. De mens, voorzien van superkrachten uit fossiele energiebronnen, die zich niet realiseert dat ook mensen afhankelijk zijn van de zelfherstellende en zelfopbouwende vermogens van het natuurlijke ecosysteem en de fundamentele energiestromen die de aarde elke dag van energie voorzien.** Dit is ironisch als men bedenkt dat de fossiele brandstoffen oeroude zonne-energie zijn die in miljoenen jaren is vastgelegd door en opgeslagen in een florerend natuurlijk systeem waar overschotten aan energie juist werden vastgelegd. De opbrengsten van de zorgvuldige langetermijnplanning van het levende systeem worden verspild voor kortetermijnwinsten van slechts één soort.

Elementaire bouwstenen van het leven

Met kennis van de elegantie, genialiteit en zelfversterkende vermogens van het natuurlijke systeem in gedachten, kunnen we dit systeem in een agrarische context plaatsen. Verscheidene basisprincipes van zo'n systeem zijn weergegeven in Figuur 1. We nemen de zon als startpunt in dit schema. De zon brengt via stralingsenergie (fotonen) energie naar het aardoppervlak. Deze energie verwarmt in de eerste plaats het aardoppervlak, maar wordt ook opgevangen door de zogenaamde 'autotrofe' organismen. Dit zijn organismen die geen andere organismen eten, maar de eigenschap hebben om op basis van zonlicht mineralen om te zetten in organisch materiaal. Naast energie is een andere primaire levensbehoefte de aanwezigheid van vloeibaar water. Het valt als regen op de planten, maar de directe opnamecapaciteit van planten via hun bladeren is slechts beperkt. De grootste hoeveelheid water wordt door de bladeren en stengels naar de grond geleid. Planten kunnen het direct uit de bodem opnemen met hun wortels of indirect via schimmeldraden die als verlenging van de wortels fungeren.

Naast de waterstof (H) en zuurstof (O) die beide door het water (H₂O) worden geleverd, bevat biomassa vele elementen en een heel aantal meer worden gebruikt tijdens het opbouwproces van biomassa. De belangrijkste elementen voor al het leven op aarde zijn koolstof (C), zuurstof, waterstof en stikstof (N). Een slimme combinatie van het levende systeem, omdat al deze elementen zich in de atmosfeer bevinden en daardoor over de gehele wereld beschikbaar zijn. Andere belangrijke elementen zijn fosfor (P) en zwavel (S) die veelvuldig in aarde voorkomen net als andere mineralen waarvan de aanwezigheid, m.n. voor complexe levensvormen, essentieel is zoals kalium (K), natrium (Na), calcium (Ca), magnesium (Mg) en chloor (Cl). In totaal zijn er zo'n 28 essentiële elementen voor al het leven, waaronder: ijzer, boor, mangaan, zink, koper, molybdeen en nikkel. Vele van deze mineralen zijn gebonden aan gronddeeltjes, bevinden zich in gesteenten, zijn vastgelegd in oxiden of stabiele organische stof. Ook is de verspreiding van deze elementen vaak niet evenredig door de bodem, maar zijn ze geconcentreerd op locaties (zoals in ertsen). Ze zijn hierdoor in tegenstelling tot de macronutriënten vaak niet gemakkelijk beschikbaar en opneembaar voor planten. Het lijkt in eerste instantie een nadeel dat de meeste mineralen zo goed in de grond worden vastgehouden, maar het voorkomt uitspoeling en verlies van essentiële elementen naar uiteindelijk de oceaan.

Om voldoende elementen te kunnen verzamelen hebben planten twee opties. De eerste is om zelf een gigantisch wortelstelsel aan te leggen en daarbij ook nog eens de vele verschillende enzymen te produceren die nodig zijn voor het oplossen van de mineralen, zodat mineralen uit een groot gebied binnen kunnen worden gehaald. Dit zou van de plant echter een grote voorinvestering in energie en 'bouwmaterialen' vergen, terwijl deze laatste juist schaars zijn. Wat de plant ook kan doen, is een samenwerking aangaan met levensvormen die gespecialiseerd zijn in het vrijmaken van sporenelementen en het bouwen van grote ondergrondse transportnetwerken voor deze elementen. Door deze optie komen mineralen beschikbaar voor een fractie van de energetische en materiële inzet die het een plant zou kosten. Aangezien de natuur ontzettend wijs is, kiest de plant voor deze tweede optie. Vanuit het oogpunt van schimmels, die de handelspartner zijn, is dit ook een uitstekende deal. Schimmels zijn namelijk heel efficiënt in het omzetten van steen naar beschikbare mineralen en het bouwen van netwerken, maar niet in het vastleggen van koolstof en energie. Daar kunnen ze planten, als ultieme specialisten op dat vlak, heel goed voor gebruiken. Een mooi voorbeeld van synergie.

Micro-organismen

In iedere bodem bevinden zich schimmels, bacteriën, archaea en vele andere typen micro-organismen, maar in veel (agrarische) bodems bevindt een groot deel van deze organismen zich in een sluimertoestand. Levende planten brengen de bodem tot leven door energierijke koolstofverbindingen in de grond te 'pompen'. Na hun dood vormen planten een natuurlijke strooisellaag die de bodem beschermt tegen directe weersinvloeden en die net als de afstervende wortels kan dienen als voedsel voor een actieve populatie micro-organismen. Naast voeding uit planten moet er voor activatie en groei van micro-organismen een goede verhouding tussen lucht en water in de bodem zijn en de bodem moet deze lucht kunnen verversen (ademen). Wanneer de micro-organismen wakker zijn geworden en zich beginnen te vermeerderen, worden grote ondergrondse handelsnetwerken opgezet voor de uitwisseling van koolhydraten, mineralen en stofwisselingsproducten (metabolieten). Deze stofwisselingsproducten kunnen een signaalfunctie hebben (aanrekken of afweren van organismen), planten beter laten functioneren (zodat ze nog meer energie in de bodem brengen) of bijdragen aan de weerstand tegen pathogene en parasitaire soorten die in de bodem aanwezig zijn om 'niet optimaal functionerende systeemonderdelen' op te ruimen. Daarnaast zijn er ook vele stofwisselingsproducten gevormd die een positief effect hebben op de gezondheid van het gewas en van dieren en mensen die dit gewas consumeren. Ook gezonde planten produceren vele stofwisselingsproducten, hierbij spelen ook de schimmels en bacteriën die in deze planten leven een rol.

In de bodem wordt door geactiveerde micro-organismen een grote verscheidenheid aan enzymen geproduceerd die ervoor zorgen dat mineralen vrij worden gemaakt van bodemdeeltjes of uit dood organisch materiaal. Deze enzymen worden in de bodem gebracht. Kleine organismen hebben geen maag, dus verteren ze het 'eten' buiten hun lichaam. Mineralen worden, wanneer ze eenmaal onderdeel zijn van de organische stof, steeds weer hergebruikt in het levende systeem. Schimmels vormen grote netwerken van schimmeldraden (hyfen) die kilometerslange ketens vormen en verbindingen aangaan met vele soorten micro-organismen en wortelstelsels van vele plantensoorten. Het zijn de grote verbinders in de bodem die het effectieve worteloppervlak van planten naar schatting 50 tot 1000 keer vergroten, waardoor planten niets te kort hoeven te komen. Deze schimmels zijn overal op aarde aanwezig, waardoor mineralen theoretisch door hun netwerk over vele duizenden tot miljoenen jaren grote internationale

reizen kunnen maken. Schimmels kunnen zo voor beschikbaarheid zorgen van mineralen die 'van nature' in sommige bodems ontbreken.

Gunstige schimmels, bacteriën en andere micro-organismen leven niet alleen in de grond rond de wortelzone, maar dringen ook door in de wortels, stengels en bladeren van planten. Hierdoor komen ze ook in het verteringsstelsel van dieren en mensen. Er zijn dan ook grote overeenkomsten tussen populaties micro-organismen in darmstelsels en die in de grond. Bij mensen en dieren zit echter 'de grond', d.w.z. een stukje externe omgeving, in het verteringssysteem. Darmen, darmpluizen en darmvlokken zijn net plantenwortels met hun vele vertakkingen en wortelhaartjes. De interne micro-organismen vormen een intern ecologisch systeem waardoor planten, dieren en mensen efficiënter met mineralen en energie omgaan en gezonder worden. Een gezonde 'gastheer' is immers in het grootste belang van de interne populatie. ***In een menselijk lichaam zitten naar schatting zo'n tien- tot twintigduizend miljard micro-organismen, tot wel 2 keer het aantal menselijke cellen.*** Gezonde planten kunnen in een natuurlijke omgeving naar schatting tot wel tien keer meer cellen van microbiële aard dan plantencellen bevatten.

Bodem, het fundament van het voedselweb en natuurlijke cycli

Op de microbiële marktplaats fungeert energie als het geld dat de 'ondergrondse economie', en hiermee het hele levende systeem, laat gedijen. Planten voeden micro-organismen met energierijke wortellexudaten (koolhydraten). Met secundaire metabolieten beïnvloeden ze het milieu in de wortelzone waardoor gunstige micro-organismen worden aangetrokken en synergetische samenwerkingen tot stand kunnen komen. De samenwerking en interacties tussen planten en duizenden soorten micro-organismen zijn indrukwekkend, maar ze vormen slechts de basis van het complexe voedselweb bestaande uit alle leven op aarde dat voor zijn welvaart afhankelijk is van een welvarende en levende bodem. Hoe verder dit voedselweb zich ontwikkelt, hoe meer functies worden vervuld. Functies die allemaal het levende systeem dienen. Per definitie bestaan er geen 'onnuttige' organismen (en dus geen onkruiden of plaagdieren), ze zouden snel verdwijnen als ze niet bijdroegen aan het leven als geheel.

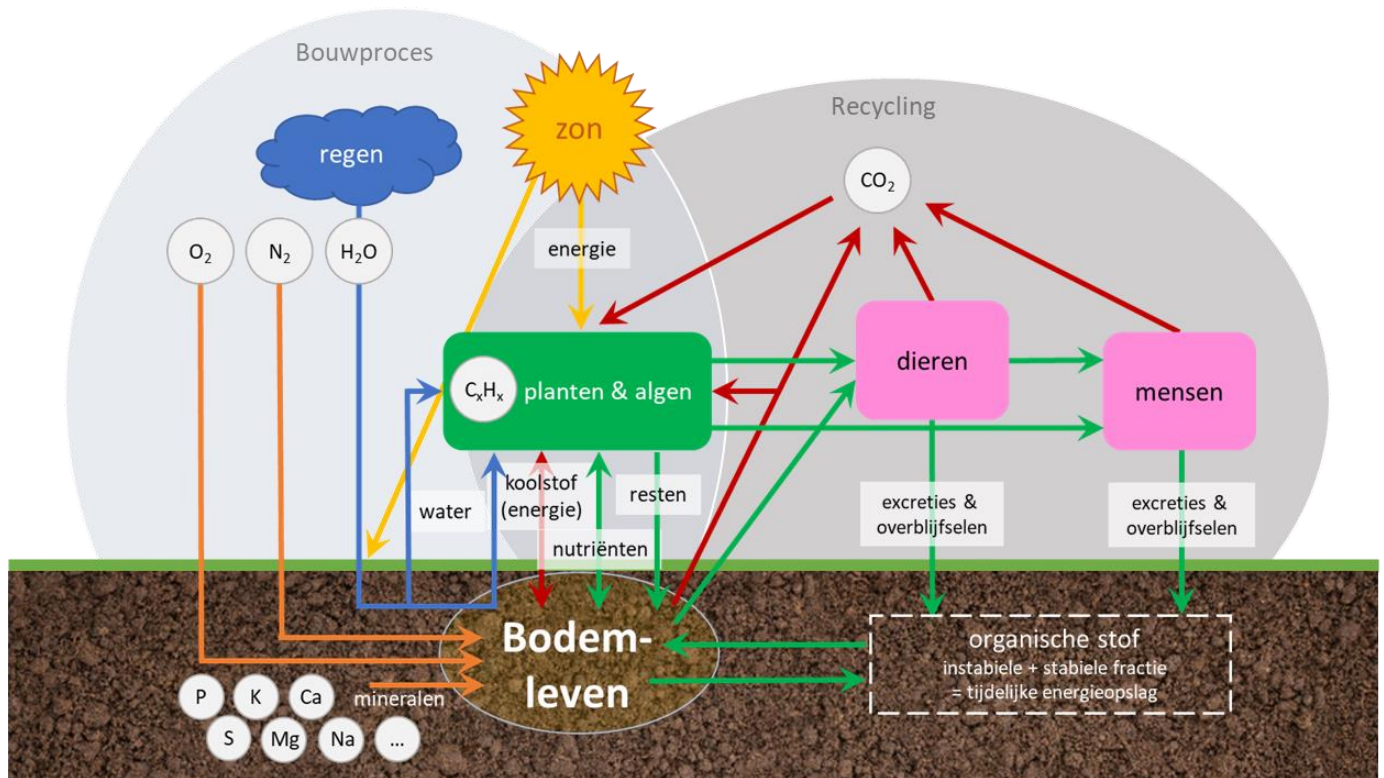
Een heel bekende, maar nog niet volledig begrepen, vorm van bodemleven zijn wormen. Ze vervullen o.a. een rol in verwerking en transport van organische stof, transport en verspreiding van micro-organismen (via verteringsstelsel en huid), maken gaten in de bodem waar wortels door groeien en water kan stromen en ze helpen bij het bouwen van bodemaggregaten (klompen gedroogd slijm, grond en organische stof) die de bodemstructuur in stand houden. Door deze aggregaten kan ook na hevige regenval de voor het bodemleven essentiële gaswisseling doorgaan. Verder eten wormen microscopische organismen die grazen op de biofilms van nuttige micro-organismen en dienen ze op hun beurt ook weer als voedsel voor vogels en zoogdieren zoals mollen, muizen, dassen en zelfs vossen. Ze brengen zo organisch materiaal (energie en mineralen) van boven naar beneden en gaan als voedsel (energie en mineralen) van beneden naar boven. Vergelijkbare functiebeschrijvingen van elk bodemorganisme kunnen zo worden gemaakt. ***Bodemleven is de grote verbinder van alle mineralencycli met het levende systeem. Het vormt de motor van alle regeneratieve ecosystemen, een motor die draait op zonne-energie geleverd door levende planten.***

Organische stof kringloop

In Figuur 1 is het opbouwen van organische stof uit minerale componenten gelabeld als het 'bouwproces'. Zoals genoemd, wordt het levende systeem gedurende zijn ontwikkeling steeds efficiënter in de benutting van energie. Vanuit energetisch oogpunt is het veel efficiënter om 'onderdelen' uit dode organische stof opnieuw te gebruiken dan om nieuwe organische stof uit anorganische materie te maken. Dit laatste is namelijk een behoorlijk energie-intensief proces. Vanuit mineralenoogpunt is het hergebruik van organische stof een absolute must. De beschikbaarheid van mineralen in de bodem is beperkt en in vele (agro)ecologische systemen is het landschap zo veranderd dat de natuurlijke processen die voor de mineralen in de bodem zorgen (bijvoorbeeld overstromingen van rivieren en zeeën) niet langer optreden. Ook mensen hebben in hun controlerings- en structureringswoede het landschap zo aangepast dat natuurlijke aanvoerroutes geblokkeerd zijn, waardoor mineralen enkel nog via de kanalen langs de akkers en velden netjes de oceaan instromen. ***Het willen controleren en structureren van zelfsturende systemen is per definitie tegen de natuur in werken en de onnatuurlijke situatie die ermee wordt gecreëerd zal veel energie vragen voor instandhouding.*** De natuur ontwikkelt zich immers per definitie en is hierdoor dynamisch van aard.

De GoudGroene Transitie

Levende bodems zijn de kern van natuurgedreven en regeneratieve ecosystemen



Figuur 1. Schematische weergave van materialen en energiestromen in een ecologisch/agrarisch systeem. Planten vormen de sleutel in 'energievoorziening' en bodemleven zorgt voor de verbinding tussen dode en levende materie en vervult een centrale rol in de nutriëntencycli. De figuur is ontwikkeld in samenwerking tussen CO2L Farming Advies en Galama Sustainable Solutions.

Dieren, mensen en alle andere 'heterotrofe' organismen voeden zich met organisch materiaal (bouwstenen, mineralen en energie) dat afkomstig is van andere organismen. Dit organisch materiaal kan afkomstig zijn van levende of dode organismen en uit de uitscheidingen van organismen. Uiteindelijk staan de autotrofe organismen aan de basis van alle beschikbare materiaal en energie. Organisch materiaal wordt dus continu hergebruikt en beweegt zich zo door het voedselweb. Bij elke volgende opname van organische stof wordt er een deel afgebroken en wordt energie uit het materiaal gehaald. Deze energie wordt door de eter deels gebruikt om nieuw organisch materiaal te vormen uit de brokstukken, bijv. muis-materiaal wordt poes-materiaal, en deels voor levensonderhoud en activiteiten van het organisme. Bij elke afbraak van organische materialen komen er mineralen vrij, waardoor de totale hoeveelheid organisch materiaal steeds verder afneemt richting de 'top' van de voedselpiramide. Het hergebruik ('recycling') van organisch materiaal is veelal energetisch efficiënter dan nieuwbouw en is weergegeven aan de rechterkant in Figuur 1. Natuurlijk is er grote overlap tussen bouwen en recycling omdat bouwstenen 'verloren' gaan tijdens afbraakprocessen. Soms is nieuwbouw ook gewoon efficiënter en/of effectiever.

Alle overblijfselen en uitscheidingen van planten, dieren en mensen maar ook van micro-organismen zelf komen in de grond als organisch materiaal. In het begin is de biomassa vers en instabiel. Er vindt afbraak plaats door fysische, chemische en biologische processen. Na verloop van tijd wordt ze moeilijker afbreekbaar. Organische stof kan gestabiliseerd worden door o.a. inkapseling in stabiele aggregaten, sterke hechting in/aan minerale delen of ze spoelt uit naar locaties in de bodem waar condities voor verdere afbraak ontbreken. Aangezien alle organische stof energie bevat, vormt ze een energiereserve voor het bodemleven. Deze voorraad wordt opgebouwd wanneer er tijdens het groeiseizoen een overschot in aanbod is. Wanneer de 'energieproductie' door planten echter stopt, wordt deze batterij weer leeggehaald. In kale grond tijdens het groeiseizoen zal dit leegtrekken veel sneller gaan dan bijvoorbeeld onder begroeide oppervlaktes in de winter, wanneer net als fotosynthese ook de microbiële afbraak sterk vermindert. Wanneer de energietoevoer eindigt, zal het organische stof gehalte van de bodem afnemen. Dit is geen probleem als er over het jaar (de jaren) heen maar een positieve balans is. Het is zelfs gewenst dat er afbraak optreedt: de energie moet immers circuleren door het leven om te leven. De beschikbaarheid van voldoende

organische stof zorgt ervoor dat de bodemstructuur behouden blijft en dat er genoeg energie is om het bodemleven te onderhouden waardoor een snelle herstart van het systeem in het voorjaar mogelijk is. Hierdoor kan het systeem tijdens het groeiseizoen maximaal energie winnen en zoveel mogelijk energievoorraad aanleggen, zodat een nog grotere bodemlevenpopulatie kan overwinteren.

Het afbreken van organische stof vergt in de eerste plaats energie. Verbindingen in de lange koolstofketens in complexe organische structuren moeten door micro-organismen worden verbroken om kleine opneembare brokken te vormen waaruit vervolgens weer energie gewonnen kan worden. Wanneer organische stofresten al grotendeels verteerd zijn en enkel moeilijk afbreekbare bindingen overblijven, loont het energetisch niet meer voor micro-organismen om de organische stof verder af te breken. De energievraag is groter dan de opbrengst. Deze vergaand verteerde organische stof kan voor heel lange tijd in de bodem blijven. Het stilvallen van energie-input uit fotosynthese zal altijd zorgen voor energieschaarste onder de grond en heeft daarmee een direct effect op het hele levende systeem. Het zal wanneer de situatie te lang duurt resulteren in het verdwijnen van functies. Het systeem wordt dan minder efficiënt en verliest weerbaarheid. Dit is het begin van een degeneratieve (afbrekende) spiraal, die bijvoorbeeld voorkomt door ontbossing, overbegrazing of akkerbouw waar velden grote delen van het jaar onbegroeid zijn. **De enige manier om de degeneratieve spiraal om te draaien naar een regeneratieve is door aanplant, de bodem begroeid en bedekt te houden voor een zo lang mogelijke periode per jaar EN door de planten met het bodemleven te verbinden.** Door het bevorderen van synergie tussen planten en bodemleven kan het regeneratieve potentieel van ecosystemen worden benut, wat de biodiversiteit bevordert, ecosysteemdiensten verbetert en gedegradeerde landschappen herstelt. Deze holistische benadering erkent de onderlinge verbondenheid van alle componenten.

Degeneratie van bodem en maatschappij

In een degeneratief landbouwsysteem zijn het niet alleen maar een gebrek aan levende planten en een gebrek aan variatie in de plantensoorten die resulteren in een simplificatie van het ecosysteem. Dit komt ook voor een belangrijk deel door de disconnectie tussen planten en micro-organismen in de grond. Deze disconnectie wordt veroorzaakt door o.a. gebruik van pesticiden, herbiciden, minerale kunstmest, slechte kwaliteit meststoffen die giftig zijn voor het bodemleven, vernieling van de bodemstructuur en ondergrondse netwerken door grondbewerking of door overschrijding van de draagkracht van bodems door zware machines en te grote kuddes. Het is ook aangetoond dat sommige genetisch gemodificeerde gewassen (GMO) zelfs niet langer de mogelijkheid hebben om de verbinding met bodemleven aan te gaan en ook niet meer goed kunnen samenwerken met natuurlijke insectenbestrijders. Ze groeien niet langer in overeenstemming met het levende systeem. Wanneer de verbinding tussen plant en bodemleven verdwijnt of onvoldoende is, zal de biodiversiteit met al haar functies afnemen, omdat er onvoldoende energie in dit levende systeem terechtkomt. Daarmee vermindert ook de natuurlijke productiecapaciteit van het ecosysteem: de autokatalytische spiraal is verbroken. **'Degeneratieve landbouw' is een paradoxale benaming. Het is namelijk geen landbouw, maar landafbraak.** In versimpelde eentonige 'productielandschappen' is geen balans meer. Werkwijzen uit de regeneratieve landbouw en gewasvariatie op en tussen percelen brengen deze balans terug. Het is de sleutel tot weerbare teeltsystemen. **De nieuwe boer is een ecooloog. Hij beheert geen velden maar een ecosysteem.**

Na ieder 'landafbrekend' jaar zal er door de boer meer externe energie moeten worden gebruikt om opbrengsten gelijk te houden. Deze extra energie komt tot uiting in o.a. extra gebruik van pesticiden, kunstmest, vaker toedienen van voeding met sporenelementen en de oplopende hoeveelheid trekkracht die nodig is om de bodem te bewerken. Al deze extra arbeid wordt bijna volledig gedreven door energie uit fossiele brandstoffen. Het biedt geen langetermijnperspectief. Het voedselproductiesysteem als geheel verbruikt op dit moment enkele malen meer fossiele energie dan dat het oplevert aan energie in voedsel voor de maatschappij. Vanuit systemisch oogpunt waanzin. Daarbij komt nog dat niet alleen de energiestroom verbroken is, maar ook de mineralenstroom van bodem, via gewas naar mens en dier.

Echte plantgezondheid kan enkel optreden wanneer planten in volledige verbinding staan met een actief en goed ontwikkeld 'florerend' bodemleven. Op levende grond kunnen gewassen volledig immuun zijn tegen 'ziekten en plagen'. Deze laatste zijn enkel gericht op het opruimen van niet volledig gezonde gewassen, die door gebreken ook minder voedend zijn voor mensen en dieren. Natuurlijke immuniteit van planten is het summum voor iedere regeneratieve teler. Door wisselende groeiomstandigheden zullen de condities hiervoor echter niet altijd worden

gehaald. In monotone landschappen, zonder balans, zullen plaagdieren dan kunnen floreren. De natuurlijke bestrijders zullen pas op stoom komen als de oogst grotendeels is aangetast. In een ecosysteembenadering zal er ruimte zijn om natuurlijke bestrijders te herbergen en te voeden gedurende het jaar. Planten hebben naast heel interessante relaties met gunstig bodemleven ook heel sterke interacties met natuurlijke plaagdierbestrijders zoals sluipwespen. Hierin spelen o.a. signaalstoffen en veranderingen in het elektromagnetisch spectrum dat planten uitzenden een grote rol. Beide kunnen niet waargenomen worden met menselijke zintuigen. Emelten, muizen en slakken zullen veel minder kans krijgen als er ruimte is voor een gezonde populatie aan roofdieren voor deze dieren in en om de velden.

Het degeneratieve karakter van onze hedendaagse landbouw komt naar voren in de vastgestelde daling in nutritionele waarde van voedsel sinds het begin van de groene revolutie. ***De meerderheid van de mensen op aarde heeft een gebrek aan sporenelementen en er zijn vele 'moderne' gezondheidsproblemen die verholpen kunnen worden met stofwisselingsproducten van bodemmicro-organismen en gezonde planten.*** Dit heeft ook te maken met een westers dieet waarin veel sterk bewerkt voedsel voorkomt. 'Lege calorieën' hebben geen tot weinig nutritionele waarde en bevatten weinig sporenelementen. Daar waar mineralen in voedsel zijn afgenomen, is het aantal chemicaliën (pesticiden, herbiciden, fungiciden, micro-plastics, conserveermiddelen, ...) in ons voedsel juist toegenomen. Hoe zou deze wissel van voedingsstoffen en chemicaliën uitwerken op ons lichaam en op de grote populatie micro-organismen in ons verteringsstelsel die ons lichaam gezond houden en efficiënt laten werken? *'Laat voedsel je medicijn zijn en medicijn je voedsel'* is een passende opvatting die terugkomt in alle oude beschavingen op aarde. Het is bijvoorbeeld een sleutelprincipe van ayurveda (India) en de traditionele Chinese geneeskunst. Het huidige voedselproductiesysteem van na 'groene revolutie' is dus energetisch inefficiënt en in zijn geheel ineffectief omdat het zijn kerntaak 'nutriëntenrijkvoedsel produceren' niet in voldoende mate vervult. Daarbij zorgt het voor verweerde en disfunctionele percelen en wordt de bodem onder het gehele voedselweb van energie ontdaan. Het is niet vreemd dat gebieden met een heel hoge mate van menselijke toe-eigening van alles wat groeit (HANPP¹), de biodiversiteit drastisch gereduceerd wordt. Het is niet enkele een gebrek aan ruimte voor dit leven, maar ook een gebrek aan energie om te kunnen leven.

Een goudgroene transitie

Het is tijd voor een omschakeling in het denken over landbouw, een paradigmaverschuiving. Het is tijd voor een agrarisch systeem dat het gouden zonlicht de wereld laat vergroenen: *'de goudgroene transitie'* of misschien is een *'goudgroene revolutie'* historisch gezien toepasselijker voor een transitie in de landbouw:

- Van een degeneratief naar een regeneratief landbouwsysteem, van landafbraak naar landbouw;
- Natuur-gedreven oplossingen voor fossielebrandstof-gedreven problemen;
- Herstel van onze relatie met het levende geheel en opnieuw onderdeel worden van het ecosysteem;
- De terugkeer van biodiversiteit en autokatalytische processen faciliteren en daarmee de natuurlijke productiecapaciteit vergroten;
- Van een lineaire benadering, die resulteert in verlies van mineralen en energie, naar kringlopen waarin mineralen steeds weer opnieuw worden gebruikt en ook energie efficiënter wordt gebruikt;
- Ophouden met het verspillen van fossiele brandstoffen om tegen de natuur in te werken, maar meebewegen in de richting van natuurlijke ontwikkeling;
- Koolstof uit de atmosfeer vastleggen in de vorm van bodemorganisch stof onder landbouwgrond (netto koolstofvastlegging van de landbouw);
- Als landbouw weer netto-energie leveren aan de maatschappij én het levende systeem;
- Waar boeren weer echt gezond en voedzaam eten produceren dat kan dienen als (preventief) medicijn;
- De maatschappij neemt haar verantwoordelijkheid om de boeren zo te kunnen laten werken.

We zullen als mens en mensheid onze rol binnen het levende systeem weer moeten gaan oppakken en bijdragen aan de groei van het levende systeem als geheel. Daarvoor zullen we moeten erkennen dat het niet om de mens gaat maar dat we slechts een onderdeel zijn van het gehele levende systeem. En dat we in dit systeem een pad te bewandelen hebben om als *'leven'* verder te ontwikkelen en te evolueren. Het doel van ons bestaan? Dienen in het

¹ HANPP, the Human Appropriation of Net Primary Production, is een indicator die landgebruik en landgebruiksintensiteit weergeeft.

levende systeem en zorgen dat dit systeem zich verder kan ontwikkelen en groeien richting maximaal vermogen.
Mooier kunnen we het niet maken, maar dat is al heel mooi! Denk er maar eens over na...

Nawoord

Voordat ik begon met het schrijven van dit artikel, heb ik vele boeken en artikelen gelezen, podcasts gehoord en gesprekken gevoerd over de onderwerpen die hier aan bod komen. Ik heb geprobeerd om deze kennis en inzichten samen te brengen en in een verhaal te verwerken. Voor elke stelling en bewering die in bovenstaande tekst is gedaan, kunnen referenties worden opgevoerd. Maar tot welk doel? De huidige gangbare manier van wetenschap is veelal reductionistisch van aard, analyses van één parameter en korte-termijneffecten. Deze manier van onderzoeken past over het algemeen niet goed bij complexe studieobjecten zoals het levende systeem of subsystemen hiervan waarin vele relaties, kringlopen en feedback loops zijn, alle met hun eigen reactietijd op externe veranderingen. Interpretaties van resultaten leiden dikwijls tot verkeerde conclusies, omdat het indirecte effect, dat vaak pas op langere termijn zichtbaar wordt, niet gemonitord wordt binnen het beperkte blikveld en tijdsbestek van studies. Echte levenscyclusanalysestudies, die vele parameters en relaties in ogenschouw nemen, worden bijna of helemaal niet uitgevoerd. Ze zijn te duur, complex en leveren allicht te weinig wetenschappelijke artikelen op. Je hoeft geen wetenschapper te zijn om te weten wat het effect van landbouw en verdere intensivering hiervan op het levende systeem zal zijn. Je hoeft enkel te kijken naar hoe het platteland er op dit moment, na meer dan 50 jaar intensivering, uitziet. Probleem is dat veranderingen aan landschap en klimaat over het algemeen langzaam gaan, ruilverkaveling en waterwerken uitgezonderd misschien, waardoor we als mens eraan wennen. Ook ons referentiebeeld verschuift mee. Dit beperkt ons voorstellingsvermogen van wat mogelijk is. Weten we hoe een echt gezond ecosysteem er uitziet? Hoe gezondheidsbevorderend voedsel dat rijk is aan stofwisselingsproducten van planten en micro-organismen smaakt? Hoe levende grond voelt en reageert op droogte of overstroming? Hoe ze ruikt? En welke planten er van nature groeien?

Ik heb geprobeerd inzichten en wijsheden te verzamelen, niet een bewijslijst op te stellen voor mijn gelijk. Er is wat mij betreft geen gelijk, ik probeer te zien wat er mogelijk is op het gebied van landbouw en ecologie wanneer we als mens met de natuur werken. Een onmogelijke opgave voor een persoon met menselijke verstandelijke vermogens. Wat ik wel weet, is dat we als mensheid verder kunnen komen door het bij elkaar brengen van vele gezichtspunten en inzichten die ontwikkeld zijn over de loop van honderden of duizenden jaren. Deze analyseren en hieruit de grote gemene delers halen. De natuurwetten zo u wilt. Dit is waar ik aan wil werken, daarbij gelijk de vermelding dat dit proces van inzichten ontwikkelen en bij elkaar brengen, net als de ontwikkeling van het levende systeem, nooit klaar is. Ik ben geen religieus persoon, maar kan wel begrijpen dat sommige mensen een god nodig hebben om het levende systeem te verklaren en allicht onze eigen positie hierin te accepteren.

Een aantal bronnen en auteurs wil ik hier noemen die van invloed zijn geweest op mijn denken, zodat geïnteresseerden zelf hun ontdekkingstocht kunnen doorzetten: Howard Odum, Charlie Hall & Kent Klitgaard, Enzo Tiezzi, Daniel Fiscus & Brian Fath, Michael Pollan, Elaine Ingham, John Kempf, Ray Archuleta, Charles Massy, Christina Jones, Nicole Masters, David Montgomery & Anne Biklé, Mario Giampietro en Vandana Shiva. Ik besef dat ook zij weer hun bronnen hebben gehad. We staan op de schouders van reuzen. Na het lezen en doornemen van vele honderden, zo niet duizenden, artikelen zijn er natuurlijk veel meer invloeden, die kleinere radertjes aan het werk zetten en tezamen ook tot 'grote inzichten' leiden. Specifiek wil ik ook de groep van adviseurs voor regeneratieve landbouw uit Nederland en België van CO2L Farming Advies noemen. Een prachtig gezelschap van holistische denkers, die het niet altijd eens zijn, maar de waarde van elkaars standpunten kunnen herkennen, erkennen en met elkaar leren. Een klein boekje genaamd The Wisdom of the Native Americans van Kent Nerburn heeft me al vroeg op mijn reis veel gebracht. Dit boekje heeft me samen met andere werken laten inzien en aanvoelen dat wijsheden uit oude culturen, verzameld in vele eeuwen en afkomstig van vele volken, in de regel een sterke waarheid bevatten die van alle dag is. Het zal naar mijn idee een kwestie van veel tijd zijn voordat de moderne wetenschap dit collectief weten uit het verleden over hoe om te gaan met de omgeving punt voor punt bevestigt. Het wiel wordt opnieuw uitgevonden, dit is niet effectief, maar misschien is het wel nodig in de huidige maatschappij. Daarbij, het staat ieder nu al vrij kennis te maken met oude wijsheden en deze nu al te gebruiken om op duurzame wijze om te gaan met het levende systeem.

Ook het werk van beroemde filosofen, leiders in het transformationele denken, en wijsheden uit het boeddhisme hebben mij vele inzichten gebracht, inzichten die ik nog steeds probeer te integreren in mijn levenswijze. Net als deze reis van persoonlijke ontwikkeling is ook alles wat hierboven is geschreven in het verhaal nooit af. Het is op zijn best een synopsis van de inzichten die ik nu heb. Morgen weet ik allicht meer. Ik hoop dat het u inspireert bij uw eigen ontwikkeling en bewustwording. Daarbij hoop ik dat we als mensen gezamenlijk kunnen werken aan een natuur-

gedreven voedselproductiesysteem waarin we als mens onze relatie met de ecologie herstellen en we het herstel van relaties tussen organismen onderling faciliteren zodat er een natuurlijk hoogproductief en gezond leefmilieu ontstaat dat verder kan evolueren en groeien. Mensen zijn een zogenaamde 'sleutelsoort' wat wil zeggen: een soort met disproportionele invloed op haar omgeving. Laten we die rol oppakken en inzetten om het levende systeem te dienen, te regenereren en te laten floreren.