

2. Bodem



Op deze foto's is mooi te zien dat de bodem de overgang vormt tussen een anorganische steenlaag en een laag met bodemleven (humus), waarop planten groeien.

De humuslaag, samen met de plantenlaag bepaalt hoofdzakelijk de biosfeer, dus de relatief dunne laag die levende wezens herbergt. Deze laag is zeer kwetsbaar voor externe invloeden.

De humuslaag bevat de organische stof, die donker gekleurd is. Deze laag bevat naast anorganische bestanddelen ook plantenresten, bacteriën, schimmels, insecten (larven), spinnen, wormen, zoogdieren. Het geheel aan leven wordt weergegeven in een voedselweb. Hieruit blijkt dat het, zoals altijd een kwestie is van eten en gegeten worden, of een meer vriendelijke vorm van samenleven: symbiose. De poep van de één is voedsel voor de ander.

Al deze organismen eten, poepen, groeien, sexen en bewegen door de bodem. Zij maken het mogelijk dat we schoon water hebben, een zuivere lucht, gezonde planten en dieren.

2.1 Bodembioogie

Veel van onderstaande info is afkomstig van *Elaine R. Ingham*. Zij is vooraanstaand bodemonderzoeker en specialist in bodembioogie. Elaine is oprichter van Soil Foodweb Inc. Dit is organisatie bestaande uit diverse laboratoria die zich richten op bodemecologie.

Een heel belangrijke taak van micro-organismen in de bodem is het vastleggen van voedingsstoffen. Sommige binden zelfs voedingsstoffen uit de lucht. Weer andere breken zelfs insecticiden af. Eigenlijk te veel om op te noemen. Eigenlijk ook heel raar dat sommige mensen de bodem MODDER (DIRT) noemen.

Opneembaarheid van voedingsstoffen

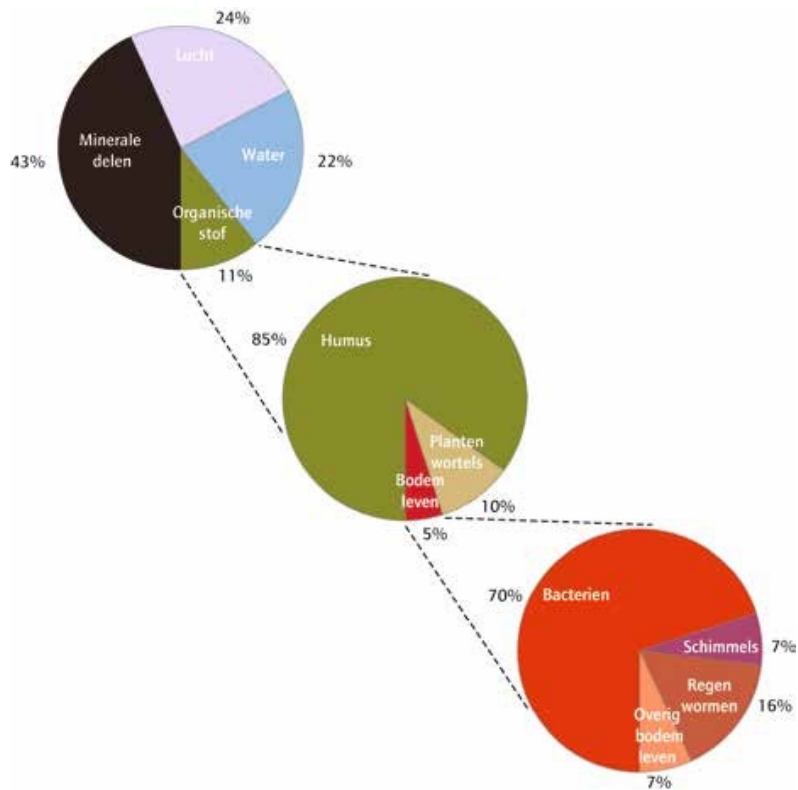
Alle bodems van de wereld, of dit nu zand, klei of steenachtig materiaal is, bevat een veelvoud aan voedingsstoffen voor de planten. Echter, ze zijn niet plantopneembaar. De plant kan hier niets mee. Hieronder wordt het proces beschreven hoe het bodemleven de voedingsstoffen plantopneembaar maakt.

Nadat door fotosynthese glucose in het blad gevormd is, gaat 50% hiervan naar de wortels. Hiervan worden onder andere afscheidingsproducten (*eksudaten*) via de wortels uitgescheiden. Deze eksudaten bestaan voornamelijk uit koolhydraten en eiwitten, die door schimmels en bacteriën in grote hoeveelheden opgenomen worden. Zij bevinden zich dus rondom de wortelzone (*rhizosfeer*). Mijten, nematoden, protozoën voeden zich met de schimmels en bacteriën. Zij concentreren de voedingsstoffen echter in mindere mate, waardoor weer grote hoeveelheden hiervan worden uitgescheiden. Deze uitgescheiden voedingsstoffen zijn opneembaar voor de plant. Dus alleen via het voedselweb kan een plant voedingsstoffen indirect uit de bodem opnemen. *De tijd tussen het uitscheiden van stoffen via de wortelharen en het terugkomen van voedingsstoffen via de voedselketen is 3 seconden in optimale bodems!*

Een cruciale rol spelen de schimmels die in symbiose met de haarwortels leven. De schimmel ontvangt de koolstof, gevormd door de plant en de plant krijgt voedingsstoffen terug (indirect). Bij de behandeling van de schimmels gaan we hier dieper op in.

Schimmel en plantwortel





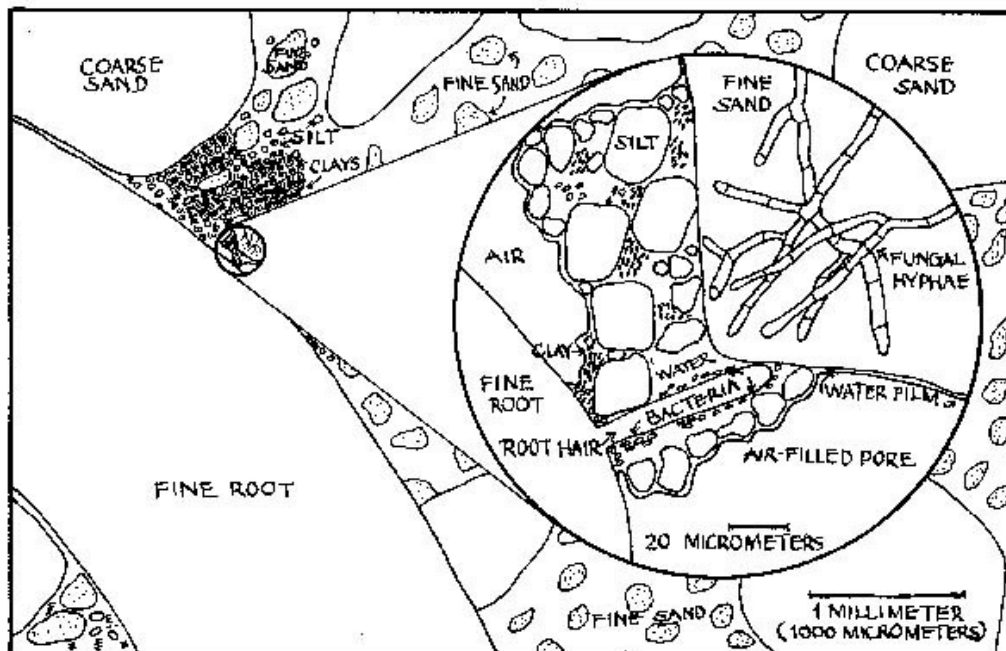
Hierboven is te zien, hoe de bodem is samengesteld en welk aandeel het bodemleven hiervan uitmaakt (voor meer wetenschappelijke informatie: <http://www.louisbolk.org/downloads/1327.pdf>)

In bovengenoemd schema is het organisch stof gehalte 11%. Dit is zeer goed. Onder de 3% is geen noemenswaardig microleven mogelijk. Let op dat de bodem voor bijna 50% uit 'lege' ruimte bestaat, die opgevuld wordt door lucht of water (bovenste cirkel).

Een toename van 1% organische stof leidt tot een verhoging van de opslagcapaciteit van water met 200.000 L/ha.

Verder leidt een toename van organische stof tot een versnelde opslag van CO₂ vanuit de lucht in de bodem. We gaan weer uit van 1% verhoging (in de bovenste 20 cm). We willen nu graag weten hoeveel CO₂ gebonden wordt per ha. Eén ha 20 cm diep heeft een inhoud van $100 \times 100 \times 0,2 = 2000 \text{ m}^3$. Een toename van 1% betekent 20 m^3 . Dit is $20 \times 1600 = 32.000 \text{ kg OS}$ ($1 \text{ m}^3 = 1600 \text{ kg}$). Dit is $16.000 \text{ kg koolstof (C)}$. Ongeveer de helft van de organische stof bestaat uit koolstof (C).

Eén kg C in de bodem was 3,5 kg CO₂ in de lucht. Dus de 16.000 kg aanwas van koolstof in de bodem moeten we vermenigvuldigen met 3,5 om de kilogrammen atmosferisch gebonden CO₂ te krijgen. Dit is **56.000 kg**.



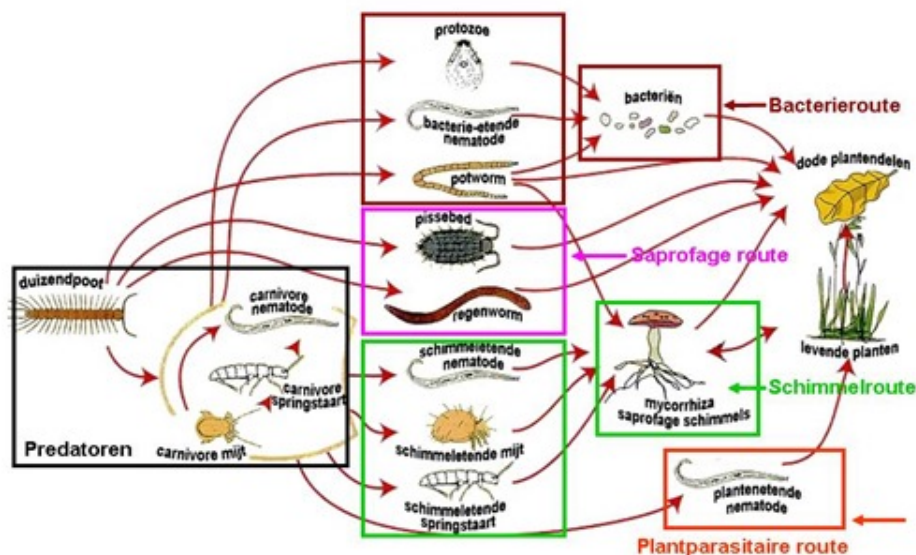
Organismen leven in de microscopische wereld tussen en in gronddeeltjes.

Een ongelooflijk grote hoeveelheid organismen maken deel uit van het voedselweb in de bodem. Zij variëren in grootte vanaf de kleine eencellige bacterie, algen, schimmels, en protozoën tot de meer complexe nematoden en microarthropoda tot de zichtbare aardwormen, insecten, kleine gewervelden en planten.

Aan de oppervlakte leven de grotere dieren. Beneden 5 cm komen vooral microscopisch kleine dieren voor. Ze zijn vaak blind en kleurloos.

De activiteiten in het “voedselweb” (Zie figuur Bodemvoedselweb) leiden tot het langzaam vrijkomen van nutriënten die door het gewas kunnen worden opgenomen. Ook bevordert het bodemleven de structuur doordat bodemdeeltjes aan elkaar gekit worden (aggregaatvorming). Dit gebeurt vooral door bacteriën, schimmels en regenwormen. Ook de waterhuishouding wordt verbeterd, vooral door regenwormen die de grond omwoelen, gangen maken en organisch materiaal in de bodem brengen. Bij lagere bemestingsniveaus kunnen mycorrhiza schimmels de opname van water en nutriënten door plantenwortels verbeteren. Netwerken van schimmeldraden vormen een enorme uitbreiding van plantenwortels (mycorrhiza) en halen fosfaat en water uit de grond in ruil voor suikers. De totale hoeveelheid bodemleven in een bouwvoor bedraagt meestal enkele duizenden kg per hectare. Bacteriën, schimmels en regenwormen vormen de grootste hoeveelheden biomassa.

Zoogdieren als de mol, spitsmuizen, dassen, wilde zwijnen doen zich ook weer tegoed aan vooral wormen, waarbij ze via hun ontlasting de cirkel weer dicht maken.



Het is belangrijk om te realiseren dat de plant via groene bladeren CO₂ bindt en koolhydraten vormt (fotosynthese) en via de wortels *ALLE* andere bestanddelen zoals water en alle mineralen van ons elementair systeem opneemt. Sommige planten in nevelige oerwouden kunnen ook water via de bladeren opnemen.

Het voedselweb wordt van energie voorzien door “primaire producenten”, planten, mossen, lichens, fotosynthetische algen en bacteriën, die CO₂ in suikers vastleggen onder invloed van zonlicht.

Deze primaire producenten leveren voedingsstoffen aan andere en zijn afhankelijk van het voedselweb voor de toelevering van mineralen en sporelementen. Organische stof is de opslagplaats van voedsel die door planten en andere organismen benut wordt. De organische stof in de bodem bestaat ruwweg uit gelijke delen humus en organisch actieve bestanddelen. Deze zijn de bestanddelen die kunnen worden opgenomen door bodemorganismen. Bacteriën gebruiken eenvoudige voedingsstoffen, zoals wortel uitscheiding of verse plantenresten. Schimmels zijn meer complex in hun voedselbenutting zoals vezelige plantresten, hout en humus.

Grondbewerking leidt tot een groeispurt van microleven (vnl. bacteriën) die organische stof afbreken en omzetten in CO₂, waarbij de organisch actieve fractie als eerste opgebruikt wordt.

Bodemgebruik dat organische stof wil sparen (geen grondbewerking, compostgebruik, permanente grassen, tussengewassen, holistische begrazing) zal eerst tot een toename van de actieve organische fractie leiden, lang voordat er een toename van totale organische stof gemeten kan worden. Bij een toename van organische stof zullen micro-organismen een rol gaan spelen bij de vorming van humus – een stabiele vorm van koolstof.

2.3 Voedselbronnen voor bodem organismen

Organische stof heeft betrekking op alle organische bestanddelen. Hieronder zijn enkele termen, die onderdelen van de organische stof beschrijven:

Levende organismen: bacteriën, schimmels, nematoden, protozoën, wormen, arthropoden en levende wortels

Dood plantenmateriaal, organisch materiaal, detritus: al deze termen verwijzen naar plantaardig, dierlijk en andere organische bestanddelen die recentelijk aan de bodem zijn toegevoegd en vroege verschijnselen van afbraak laten zien. Detrivoren zijn organismen die zich voeden met dit materiaal.

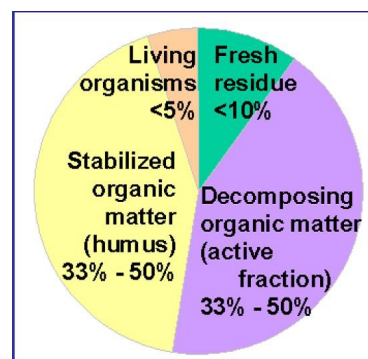
Actieve organische fractie: organische bestanddelen, die als voedsel gebruikt kunnen worden door micro-organismen.. De actieve fractie verandert snel (sneller dan het totale organische stof gehalte) op veranderingen in bodemmanagement.

Labele organische fractie: organische bestanddelen die snel vergaan

Wortel exsudaat: oplosbare suikers, aminozuren en andere stoffen, die door de wortelharen worden uitgescheiden.

Lignine: moeilijk af te breken vezelfractie die vaak in oudere planten (delen) aanwezig is. Schimmels kunnen de koolstofring in lignine gebruiken als voedsel.

Humus: complexe organische verbindingen, die overblijven na vorming uit organische stof door micro-organismen. Humus is erg stabiel en kan niet direct en snel worden afgebroken (aggregaatvorming of chemisch te complex voor de meeste micro-organismen). Humus is van belang om bodemdeeltjes te binden, water vast te houden, schuilplaats voor micro-organismen. Het geeft structuur aan de bodem. Meer een huis.



Samenstelling organische fractie

2.4 Waar leven micro-organismen ?

De organismen van het voedselweb zijn niet gelijkmatig in de bodem verdeeld.

- Rond de wortels

De rhizosfeer is het smalle gebied van de bodem die direct rond de wortels is. Het wemelt er van bacteriën die zich voeden met dode plantencellen en met eiwit en suiker, die door de plantenwortels worden uitgescheiden. De protozoa en nematoden die bacteriën eten, zijn hier natuurlijk ook te vinden. Dus verreweg de meeste omzetting van voedingsstoffen en de onderdrukking van (bacteriële) ziekten vindt plaats in deze wortelzone.

- In organisch afval

Vezelig plantaafval wordt in eerste instantie door schimmels aangepakt vanwege de moeilijk verteerbare koolstofverbindingen die in plantaardig materiaal zitten. De schimmeldraden kunnen stikstof 'oppompen' vanuit diepere bodemlagen naar de afvallaag. Schimmels hebben deze stikstof nodig voor eigen groei en ontwikkeling.

Dit oppompvermogen geeft de schimmels een voordeelpositie tegenover bacteriën.

Bacteriën daarentegen zijn volop aanwezig in de groenafval van jongere planten, omdat hier relatief meer makkelijk afbreekbare stikstof inzit.

Bacteriën en schimmels houden ervan als het afval verkleind wordt aangeboden. De wormen, mieren, mijten e.d. dragen zorg voor deze bewerking

- In humus

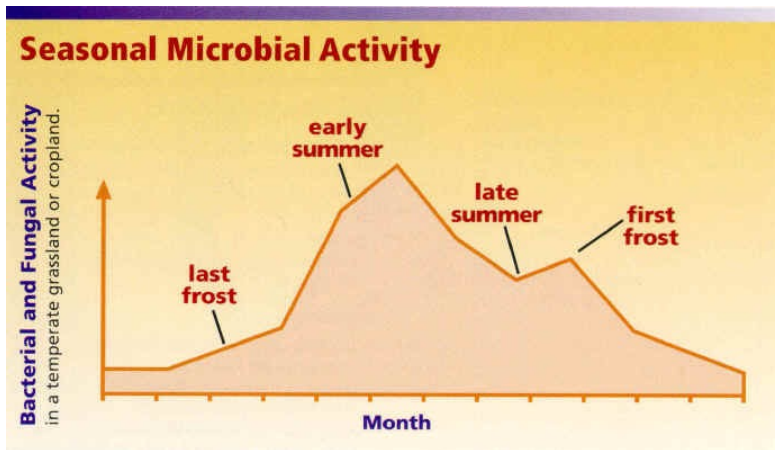
Schimmels zijn hier thuis. Veel organische stof in de bodem is al vele malen omgezet door bacteriën/schimmels of zijn al vele malen door het darmkanaal van aardwormen en insecten gegaan. De ontstane humuscomplexen bevatten uiteindelijk maar weinig direct beschikbaar stikstof en zijn moeilijk af te breken. Alleen schimmels maken sommige enzymen die humus kunnen afbreken. Humus is meer 'huis' en structuurgever dan voedingsbron.

- Op en tussen gronddeeltjes

Microbiële activiteit, vooral die van aërobe bacteriën en schimmels is groter 'op' de deeltjes dan 'in' de deeltjes.

Tussen de bodemdeeltjes bevinden zich organismen die niet echt 'graven' kunnen, zoals sommige artropoden en nematoden. In met vocht gevulde poriën bevinden zich graag organismen die gevoelig zijn voor uitdroging, zoals protozoa en veel soorten nematoden.

2.5 Wanneer zijn ze actief?



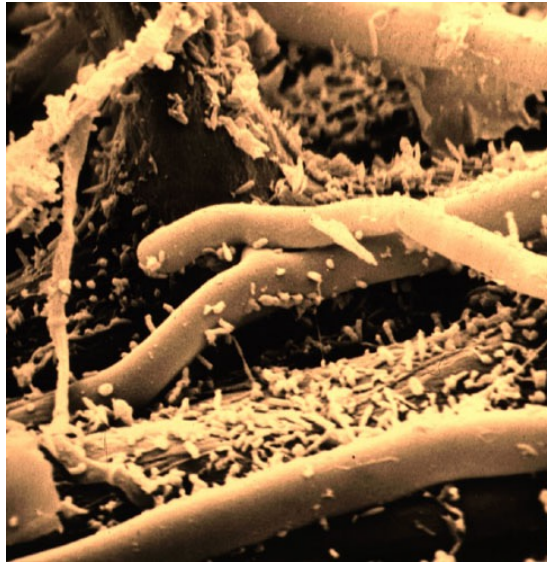
Bodemorganismen kennen zowel een seizoensmatig - als dagelijks activiteiten patroon. In gematigde gebieden vindt de meeste activiteit in het late voorjaar/vroege zomer plaats (zie grafiek boven). Echter, onder een sneeuwdek kan ook nog behoorlijke omzetting plaatsvinden (isolerende werking).

Niet alle bodemorganismen zijn tegelijkertijd druk. Sommige doen het rustiger aan, sommige zijn aan het slapen terwijl andere zich 'in het zweet' werken.

2.6 Beschrijving soorten

Bacteriën

Bacteriën zijn eencellige micro-organismen die ongeveer 1 μm (1/1000 mm) dik zijn en wat langer in lengte. Hun nietigheid wordt goedgemaakt door hun aantal. Een theelepel vruchtbare bodem bevat 100 miljoen tot 1 miljard bacteriën.



Bacteriën en schimmeldraden

Er zijn vier functionele groepen te onderscheiden:

- *Afbrekers* – deze verteren organisch materiaal en maken het beschikbaar voor andere organismen van het voedselweb. Ze zijn heel goed in het vasthouden van voedingsbestanddelen, zodat alles binnen het bereik van de wortelharen blijft. Sommige breken ook pesticiden en verontreinigingen af.
- *Samenwerkers (mutualisten)* – deze werken samen met de plant. Het meest bekend zijn de stikstofbindende bacteriën in de wortels van vlinderbloemigen.
- *Ziekteverwekkers (pathogenen)* – bijvoorbeeld *Erwinia*, *Xymomonas* en *Agrobacteria*, die bijvoorbeeld gallen vormen
- *Autotrophen* – gebruiken geen koolstofverbindingen voor hun energiebehoefte, maar bijvoorbeeld stikstof en waterstof. Sommige zijn belangrijke afbrekers van verontreinigingen.

Bacteriën vormen micro-aggregaten, die belangrijk zijn voor de water - en luchthuishouding. Een andere belangrijke taak is het vasthouden van voeding en het onderdrukken van ziekten.

Enkele belangrijke bacteriën zijn:

- *Stikstofbinders*
- *Nitrificerende* – veranderen ammonium (NH_4) in ammoniak (NH_3) dan in nitriet (NO_2) en dan nitraat (NO_3). Nitraat is de stikstofvorm die grassen het lekkerste vinden. In bosgrond worden nitrificerende bacteriën onderdrukt, waardoor de meeste stikstof daar als ammonium blijft.
- *Actinomyceten* – zij veroorzaken de ‘grond’ lucht. Zij breken heel veel substanties af. Ze zijn heel goed in het aanpakken van moeilijk afbreekbare stoffen zoals houtstof (cellulose) en insectenschilden (chitine). Ze zijn vooral actief bij hoge pH, terwijl schimmels bij lage pH actief zijn.



Actinomyceten rond een stengel

Zoals eerder gezegd leven bacteriën vooral rond de wortelzone. Planten produceren bepaalde eksudaten, die de groei van beschermende bacteriën promoten.

Nematoden

Nematoden zijn minuscule wormpjes die ongeveer 50 μm dik en 1 mm lang zijn. De ziekmakende nematoden ('aaltjes') hebben helaas veel meer aandacht gekregen dan de overgrote meerderheid van nuttige nematoden. Een ongelooflijke variëteit aan nematoden fungeert in het voedselweb. Sommige eten plantendelen en algen (eerste trophische laag); andere eten weer bacteriën en schimmels (tweede trophische laag). Andere eten elkaar (hogere trophische laag). De pathogene nematoden parasiteren op plantenwortels.

Nematoden worden gekweekt en gebruikt voor de bestrijding van slakken, teken, snuitkevers, vlooiën e.d. (biocontrole).

Aan de monddelen van de nematode zijn de diverse soorten te determineren.

De nematoden zijn te vinden waar hun voedsel is. Dus schimmel en bacterie etende rondom wortels. Pathogene bij gestresste en verzwakte planten (wortels). Schimmeletende bij schimmellagen etc. Prederende nematoden zijn het meest te vinden in onverstoorde bodems. Het lijkt erop dat zij het kwetsbaarst zijn voor moderne landbouwmethoden.

Akkerbouwgronden bevatten minder dan honderd nematoden per gram. Graslanden 50 tot 500 en bosgrond meerdere honderden.

Net zoals protozoa scheiden ze voedingsbestanddelen uit in een vorm die voor de plant opneembaar is. Als ze bacteriën of schimmels opeten, wordt ammonium (NH_4) uitgescheiden, omdat de prooi (bacteriën en schimmels) veel meer stikstof bevat dan de nematode kan benutten.

De nematoden (links) zelf kunnen weer als voedsel dienen voor andere nematoden en arthropoden. Sommige prederen weer op pathogene nematoden. In het algemeen hebben ze een regulerende invloed op de samenstelling van het microleven in de bodem.



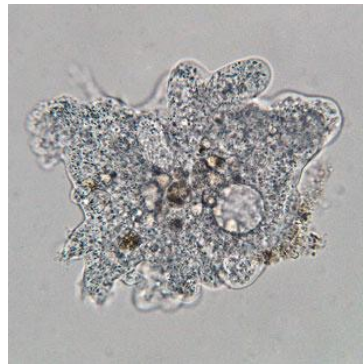
Protozoën

Deze zijn eencellige diertjes, die hoofdzakelijk bacteriën opeten. Ze zijn behoorlijk groter dan bacteriën (5 tot 500 μm in doorsnede)

Net zoals de nematoden scheiden zij stikstof uit die zij overmatig via de bacteriën binnenkrijgen.



ciliaat



naakte amoebe

Op grond van hun vorm zijn drie soorten te onderscheiden:

- *Ciliaten* zijn het grootst en bewegen met behulp van hun oppervlakte haartjes. Zij eten andere protozoa en bacteriën.
- *Amoeben* kunnen ook vrij groot zijn en bewegen zich voort via uitstulpingen van hun cel (*pseudopodien*). De amoeben kunnen een soort schaalachtige bedekking hebben (testate amoeben).
- *Flagellaten* zijn de kleinste protozoën en hebben een zweepachtig staartje om te bewegen.



flagellaat

geschaalde



amoebe

Protozoën spelen een belangrijke rol bij het mineraliseren van voedingsstoffen, waardoor deze opneembaar worden voor planten en andere bodembewoners. De C:N verhouding van protozoa is 10:1 en die van bacteriën 3:1 tot 1:10. Dus de hoeveelheid stikstof in de bacterie is veel te veel voor de hoeveelheid koolstof in de protozo. Daardoor gaat deze de overmaat stikstof uitscheiden als ammonium (NH₄).

Mineralisatie is het proces waarbij vastgelegde (geïmmobiliseerde) nutriënten vrijgemaakt worden en als voedsel gaan dienen voor het bodemleven. Deze mineralisatie komt tot stand als bodemdiertjes sterven en als uitscheiding tijdens het leven.

Protozoën reguleren ook de bacteriepopulaties. Soms leidt de consumptie van bacteriën tot een stimulatie van de groei van deze populaties.

Protozoa zelf zijn weer voedsel voor andere bodembewoners en helpen ze ziekten te onderdrukken door met ziekteverwekkers te concurreren of deze opeten.

Vocht is een belangrijk iets voor protozoa. Zonder water kunnen ze niet bewegen.

Voorkomen in verschillende bodemtypen:

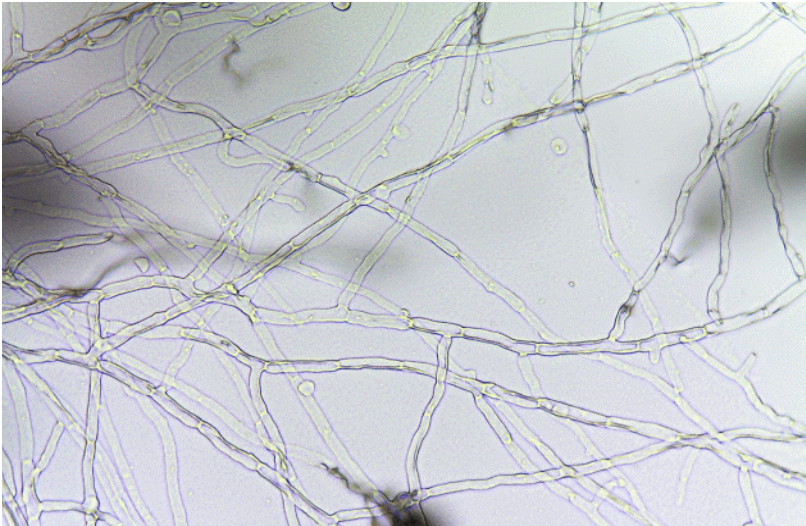
- Onvruchtbare bodems: enkele duizenden per gram
- Vruchtbare bodems : miljoen per gram
- Schimmel gedomineerde bodems (bos): testate amoebae en ciliaten
- Bacterieel gedomineerde bodems (gras): naakte amoebae en flagellaten
- Zware klei: naakte amoebae en flagellaten
- Lossere bodems : grote flagellaten, amoeben (naakt/geschaald) en ciliaten

Protozoa en bacterie etende nematoden zijn concurrenten. Sommige bodems hebben veel van deze nematoden of protozoa, maar niet beide.

Schimmels

Schimmels (*fungi*) zijn cellen die als draden of bundels (*hyphae*) groeien, die hun weg zoeken tussen bodemdeeltjes, wortels en steentjes. De hyphae zijn enkele μm dik. De lengte kan een paar cellen zijn tot enkel meters. Enkel fungi, zoals gist, zijn eencellig.

Hyphae (zie onder) gaan soms bij elkaar zitten als netachtige structuren (mycelium) of wortelachtig ('rhizomorf'). Paddestoelen zijn de vruchtlichamen van schimmels (niet alle).



Schimmels consumeren lignine, cellulose en hemicellulose. Deze vezel – en houtachtige stoffen zijn moeilijk af te breken. Deze anders inerte materialen komen nu weer vrij ten gunste van andere bodembewoners. Schimmels hebben daarom een unieke positie in het voedselweb.

Verder kunnen ze stikstof en water halen uit lagen in de bodem die anders onbereikbaar zijn. Ook houden ze grotere gronddeeltjes samen en zijn daarom belangrijk voor de water – en luchthuishouding.

Ook zijn ze zeer belangrijke producenten van de kitstof die bodemdeeltjes binden

Schimmels kunnen in drie groepen verdeeld worden:

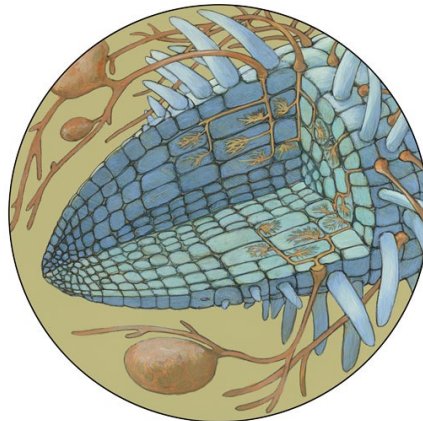
- **Afbrekers (saprophyten)** – zetten dood organisch materiaal om in schimmelweefsel, koolzuur (CO₂) en kleinere moleculen (vooral organische zuren). Zoals boven genoemd zijn ze heel goed in het afbreken van complexe koolstofverbindingen zoals cellulose; echter ook koolstofringstructuren van verontreinigingen (benzenen, PAK's)
Sommige fungi worden suikerschimmels genoemd. Deze gebruiken hetzelfde substraat (= eten) als bacteriën. Net zoals bacteriën zijn ze belangrijk in het vasthouden van nutriënten. Veel secundaire metabolieten zijn organische zuren die belangrijk zijn voor de opbouw van humuszuurcomplexen. Humus is zeer resistent tegen afbraak.
- **Samenwerkers (mutualisten)** – deze schimmels (mycorrhizae) koloniseren plantenwortels. In ruil voor koolstofverbindingen, die van de plant krijgen, doen ze verschillende dingen terug:

- helpen fosfaat meer oplosbaar te maken
- brengen nutriënten (N, P, spoorelementen, en misschien water) naar de wortel.

De ectomycorrhhyzae leven op de oppervlakte van de wortels (vaak bij bomen), terwijl de endomycorrhhyzae groeien in de wortels en worden gezien bij grassen, groenten, struiken.



Schimmeldraden (endomycorrhhyza) verweven met plantwortel



Hier is goed te zien hoe hyphea een worteltop hebben gekoloniseerd.

Door kunstmest te strooien krijgen de plantenwortels voedingsstoffen 'voor niks'. De samenwerking met andere micro-organismen is niet meer nodig en de mycorrhizae worden overbodig en samen met de andere bodemorganismen krijgen ze het extra hard te verduren door de oplosbare zouten, waar kunstmest uit bestaat. De koolstof houdt de plant voor zichzelf en de schimmels sterven hierdoor. Kunstmest is vaak NPK. Door het afsterven van de mycorrhizae wordt het onmogelijk voor de plant om andere mineralen en sporelementen in voldoende mate op te nemen, wat leidt tot een gebrek aan magnesium, natrium, calcium, koper, zink en selenium bijvoorbeeld. Dit gebrek wordt in de gehele voedingketen voortgezet. Tot en met ons. Verder zijn de mycorrhizae in staat water te onttrekken aan de bodem, terwijl de wortels dit zelf niet kunnen bij droge omstandigheden. Dit water wordt ter beschikking gesteld aan de plant. Dus deze schimmels verminderen de droogtegevoeligheid.

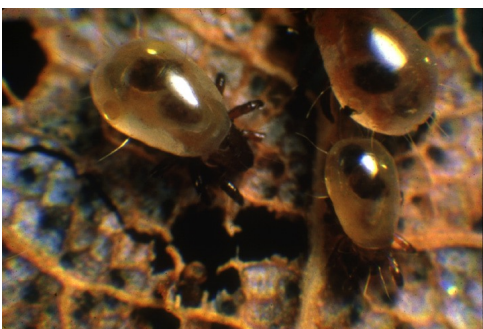
- **Ziekteverwekkende schimmels** (pathogenen, parasitair). Wortel pathogene schimmels zijn o.a. Pythium en Rhizoctonia – vooral door eenzijdige productieteelt, kunstmest, drijfmest en monocultuur wordt het gewas verzwakt en gevoelig voor deze en andere ziekteverwekkers

Nu gaan we het hebben over wat grotere dieren. Ze kunnen microscopisch klein zijn tot meerdere centimeters lang. De meeste zijn arthropoden of geleedpotigen. Zij danken hun naam aan de gewrichtjes die delen van hun poten verbinden. Zij hebben een uitwendig (chitine) skelet. Het zijn insecten zoals springstaartjes, kevers en mieren. Of kreeftachtigen zoals pissebedden, spinachtigen zoals spinnen en mijten, meerpotigen zoals duizend en miljoenpoot en schorpioenachtigen.

Als eerste willen we degene bespreken die plantenresten eten (versnipperaars of ‘shredders’).

Versnipperaars

Veel grote geleedpotigen die we op de bodemoppervlakte zien zijn schredders. Zij kauwen plantaardige resten, plus de bacteriën en schimmels die hierop aanwezig zijn. De meeste zijn duizendpoten, pissebedden, mieren, mijten.



Mijten eten bladresten



Miljoenpoot



Pissebed



Springstaart

Predatoren

Predatoren of micropredatoren kunnen generalisten zijn, zich voedend met verschillende soorten prooi, of specialisten, die slechts op één soort jagen.

Duizendpoot



Wolfspin



Herbivoren

Er bestaan veel wortel etende insecten. Dit zijn vaak larven van insecten die als volwassen exemplaar vliegen. Belangrijk voor de graswortels zijn de emelten, die als larven zich tegoed doen aan wortels van grassen. Uit de emelt ontwikkelt zich de langpootmug. Uit de wortelvretende engerling ontwikkelt de bladvretende meikever.



Emelt



Engerling

Schimmelelers

Geleedpotigen die schimmels begrazen zijn springstaarten, sommige mijten en zilvervisjes. Zij schrapen bacteriën en schimmels van de wortels af. Een groot deel van de voeding voor planten komt via de bodemfauna.



Zilvervisje

Het belang van de geleedpotigen in de bodem:

Alhoewel sommige geleedpotigen zich tot een pest kunnen ontwikkelen, doen de meeste een zeer nuttige job door:

- Organisch materiaal te verkleinen en beschikbaar te maken voor planten en andere bodemorganismen
- Stimuleren microbiële activiteit door regulatie van de bacterie en schimmelpopulaties.
- Menging microben door dat deze kunnen meeliften op hun exoskelet of via hun darmkanaal
- Mineraliseren voedingsbestanddelen
- Verbeteren bodemstructuur via vertering en gangen graven
- Houden ziekten in de hand, via het opeten en concurreren met veel blad en worteleters. Als er een gezonde populatie van generalisten/predatoren is, dan kunnen deze een grote variatie pest uitbraken inperken. Deze populatie kan alleen blijven bestaan als er ook een constantie voorraad 'niet-pest' eten is. Dit kan alleen bij een gezond voedselweb. Insecticiden gebruik en bodembewerking vormen een fundamenteel dilemma, omdat de diversiteit van het bodemleven verdwijnt, predatoren verdwijnen ook en kunnen dus geen toekomstige pestuitbraken voorkomen ('afhankelijk maken van biochemie')

2.7 Wormen

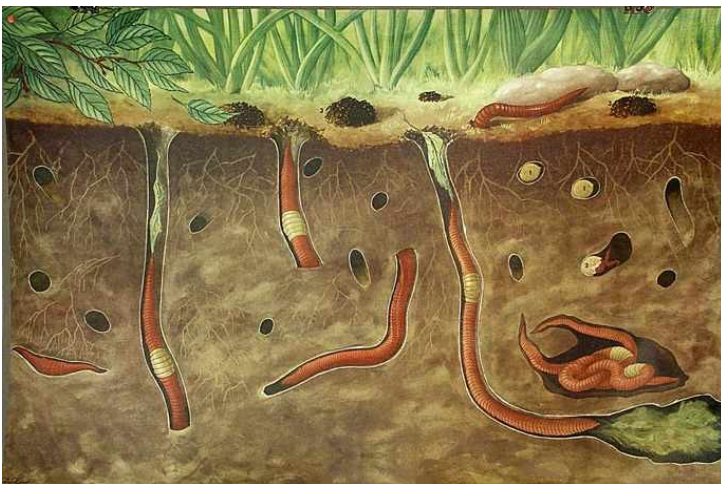
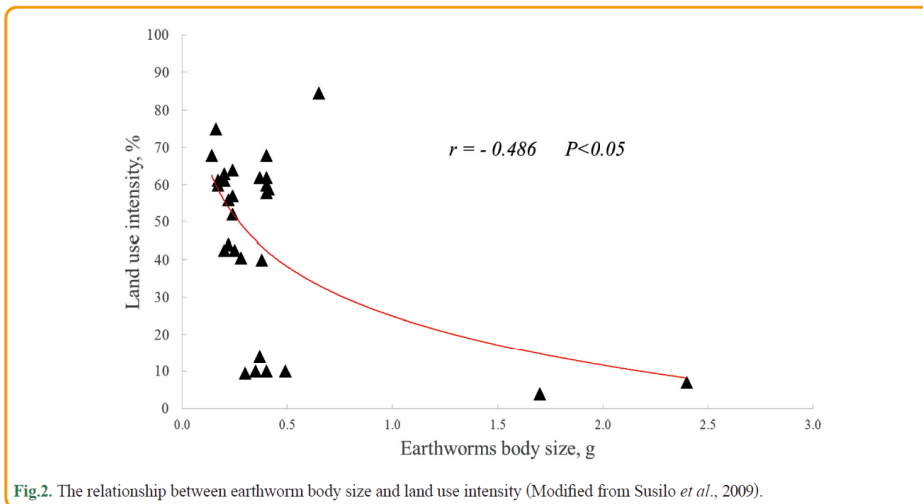
Deze hebben geen introductie nodig. Iedereen kent ze van jongs af aan al. Aardwormen zijn hermafrodiet (zowel mannelijke als vrouwelijke geslachtsorganen).

Aardwormen zijn belangrijke afbrekers van dood organisch materiaal en halen hun voeding uit de bacteriën en schimmels die in deze materialen groeien.

In termen van biomassa en activiteit, zijn aardwormen belangrijker dan alle andere dieren van het web.

Aardwormen verbeteren op een dramatische manier bodem structuur, water beweging, beluchting, voedseldynamica en plant groei. Ze zijn niet essentieel voor alle gezonde bodemsystemen, maar hun aanwezigheid duidt in het algemeen op een gezonde bodem.

Onbewerkte, niet intensief gebruikte grond bevat wormen die zwaarder zijn dan bewerkte en intensief gebruikte bodems. Zie onder.



Pendelaars maken verticale gangen en trekken blad hierdoor naar onderen. Wormhoopjes zijn zichtbaar waar de gangen gemaakt zijn.

Verskillende wormsoorten leven in verschillende delen van de bodem en hebben aangepaste voeding strategieën:

- Oppervlakte – en plantafval eters (*epigeisch*). Ze leven dus op of in een laag met plantendelen. Ze zijn klein en goed aangepast aan wisselende omstandigheden. De compostworm behoort tot deze groep.
- Bovenste aardlaag (*endogeisch*). Ze leven dus in de oppervlakkige lagen van de bodem en voeding zich met grond en organisch afval. Ze bewegen zich dus aarde etend door de bodem, waarbij hun ontlasting meteen de gangen opvult.
- Gangengravende wormen (pendelaars). Zij bewonen meer of minder permanente gangenstelsels

Gemiddeld bevat akkerland 50- 300/m² wormen, en grasland 100-500/m².

Aardwormen en het leven van de micro-organismen zijn duidelijk verbonden. Ze krijgen hun voeding binnen via schimmels, bacteriën, en waarschijnlijk ook protozoa en nematoden. Via het verkleinen van organisch materiaal maken ze de voedingsbestanddelen ook beter opneembaar voor ander microleven.

Gemiddeld gaat er per ha per jaar 12 ton aarde/organisch materiaal door de aardwormen heen.

Hun ‘ ontlasting’, die als kleine hoopjes aarde aan de oppervlakte te zien zijn, is rijk aan voedingsstoffen, micronutriënten, en gunstige micro-organismen, die nitraat kunnen fixeren en mychorrizae. In de darm wordt het organische materiaal ‘gehumificeerd’ , waarbij grote organische deeltjes omgezet worden in complexe amorfe colloïdale verbindingen. Zo wordt ¼ deel van het organische materiaal gehumificeerd.



Ontlasting hoopje in wei 3

Deze zogenaamde ‘vermicastings’ bevatten ook enzymen als amylase, lipase, cellulase en chitinase. Deze gaan door met de afbraak van organische stof en het ter beschikking stellen aan de plant.

Het stikstofhoudende materiaal dat door de nefridia van de worm wordt uitgescheiden is ureum en ammonium. Het ammonium wordt door bacteriën omgezet in nitraten. Wormen recyclen zeer snel stikstof, wel tot 200 kg N/ha.

De mycorrhizae zetten de fosfor uit de wormenpoep om in minerale fosfor m.b.v. het enzym fosfatase.

Wormen gaan ook het gevecht met zout aan, door het verminderen van verziltingsprocessen en neutraliseren ook de pH van de bodem.

Wormen kunnen ook gebruikt worden om bodems te reinigen van toxische materialen. Dit noemt men ‘vermiremediation’. Vooral olieresten, PAK’s, organische fosfaten e.d. worden grondig aangepakt. Het zou interessant zijn om holistisch grasmanagement, als aanjager van de wormpopulatie, te gebruiken om (licht) vervuilde grote oppervlakten te reinigen.

De grootste vijanden van de aardwormen zijn vooral vogels (buizerd, kippen, weidevogels) en kleine zoogdieren (mol, egel, das, spitsmuis). Echter de allergrootste vijand van de aardworm is droge kale grond

2.8 Belang bodemdiversiteit

De biodiversiteit van de bodem uit zich in een betere bodemkwaliteit. Het bodemleven ondersteunt de bodem via de ontsluiting en vastlegging van voedingsstoffen, het beschikbaar maken van het bodemvocht, het verminderen van verdichting en erosie en het weren van ziekten en plagen. Daarom leidt biodiversiteit tot een hogere en stabielere opbrengst en een besparing op arbeid, brandstof en bestrijdingsmiddelen. Een goed ontwikkeld bodemleven kan er ook voor zorgen dat de bodem stabiel is in geval van calamiteiten zoals bijvoorbeeld bodemverdichting bij slechte oogstomstandigheden in de herfst.

Overigens lijkt het bodemleven op het leven in de composthoop, omdat het gaat om de afbraak en opbouw van organische stof (men spreekt dan ook wel van bodemcompostering).

Eén verschil is wel dat er in de compost vrijwel geen regenwormen (wel compostwormen, natuurlijk) voorkomen

Een bodem met goede kwaliteit vertoont bepaalde algemene kenmerken:

- Het gewas ontwikkelt zich er ongestoord en kan beschikken over voldoende vocht.
- Haar wortelstelsel heeft geen of weinig aantastingen als indicatie van bodemgebonden ziekten en plagen en heeft ook geen gestoorde groei of knikken in de wortels die wijzen op structuurproblemen.
- Een blauwe kleur in het profiel betekent weinig zuurstof en dat is slecht voor de beworteling en de bodemleven activiteit.
- Positief zijn wormgangen waarlangs wortels compacte lagen kunnen passeren.
- Erg belangrijk is een kruimelstructuur in de wortelzone. Deze wordt veroorzaakt door een interactie tussen bodemleven, organische stof (gewasresten) en zand- en kleideeltjes. Een kruimelstructuur heeft voldoende gangen, bevat veel zuurstof en is altijd goed bewortelbaar.

2.9 Maatregelen ter verbetering van de bodemkwaliteit:

Allereerst is het belangrijk dat de bodembioologie op peil gebracht wordt. Door de bodem te onderzoeken (structuur, wormen, macro- en microscopie, zie werkmap bodem) kunnen we een inzicht krijgen in hoe de bodem is en welk leven er is. Als eerste moeten we de microbiologie

verbeteren daar waar nodig is. Dit doen we met (onderzochte) compost en/of (onderzochte) compostthee.

Verder (afhankelijk van de problematiek):

1. holistische begrazing stimuleert wortelgroei, organische stof opbouw en gaat structuurbederf tegen
1. opbrengen ruige mest van biologische afkomst.
2. hulpstoffen (zeeschelpenkalk, kleimineralen, zeezout, bokashi)
3. gebruik Effectieve Micro-organismen (EM, Green Balance)
4. Inzaaien diepwortelende gewassen zoals als luzerne, oerrogge, spelt.

Een goed, maar technisch verhaal over bodembioïologie en verschillende vormen van landgebruik is:

<http://krishikosh.egrnth.ac.in/bitstream/1/62463/1/CIFR.pdf>

3. Pedogenese (bodenvorming)

420 miljoen jaar geleden was er geen leven op het land, enkel gesteenten en rots, van waaruit voedingsstoffen in de oceanen spoelden, waar aquatische levensvormen van leefden.

Pionierende levensvormen en vooral schimmels waren in staat om deze oplosbare voedingsstoffen te benutten en hadden daarom grote concurrerende voordelen.

Voorals toen ze in symbiose met algen gingen, die zonne energie via fotosynthese konden vastleggen, konden deze korstmossen (lichens) zelfstandig gesteenten koloniseren en als eerste levensvormen op land overleven. Er waren ook sommige bacteriën met deze eigenschap

Al doende, lieten deze lichens dood organisch materiaal achter, en startte de pedogenese: de vorming van bodems, luchtige mengsels van minerale en organische stoffen, die een soortelijk gewicht hadden van ongeveer 1g per cc in plaats van gesteente met 3 g per cc. Dit luchtige mengsel van 1 gram per cc heeft dus veel ruimte om water te bergen, wat een medium is voor allerlei microbiële leven en de uitwisseling van allerlei voedingsstoffen. Plus het geeft de hogere planten het vermogen om adem te halen, fotosynthese te bedrijven en te transpireren. Ook de mogelijkheid voor wortels om door te dringen tot diepere lagen neemt enorm toe.



Dit mengsel van organische en anorganische stoffen (detritus) en lucht die zich over uitgebreide oppervlaktes verspreidde, vormde **spons achtige, koolstof bevattende bodems (in het kort: bodemspons)**, die heel goed regenwater kon laten infiltreren en vasthouden, voedingsstoffen bereikbaar maken en een hele reeks microbiële processen ondersteunen.

Rots werd afgebroken en de brokstukjes werden verbonden door koolstofbruggen die vervormbaar waren waardoor er een vermogen ontstond om water vast te houden. De uitbreiding van deze koolstof bodemspons gaf aanleiding tot een snelle evolutie en vermeerdering van microbiel – en plantleven. Deze vormden op hun beurt ook weer meer bodem en organisch dood materiaal over een gigantisch landoppervlakte, wat de grondslag was voor alle levensvormen op aarde. We spreken hier over 13 miljard ha landoppervlak. Deze bio-systemen onttrokken zeer veel koolstof uit de lucht door fotosynthese en veel van deze koolstof werd vastgelegd door schimmels in stabiele koolstof en uiteindelijk fossiele brandstof. Hierdoor ging het CO₂ gehalte van 7000 ppm naar 100 ppm. Dit had tot gevolg dat het CO₂ gehalte zodanig daalde, dat de plantengroei stagneerde. Het resulteerde in een stijgend zuurstof gehalte, wat aanleiding gaf tot enorme vuurhaarden, die weer de vastgelegde koolstof in de atmosfeer terugbrachten als CO₂.

De biosystemen die overleefden, konden een balans vinden tussen CO₂ vastlegging en oxidatie. Vaak was dit te danken aan microbiële bodem ecologie of aan de microbiële flora in het maagdarmkanaal van planteneters die vlambaar (oud) planten materiaal omzetten in bio meststoffen en organische stof. Dit was de weg naar productieve, veerkrachtige en hydrologisch goed functionerende bodems en ecosystemen.

De koolstof bodemspons en vegetatie bedekte indertijd 29% van het aardoppervlak. Hierdoor kon meer regenwater opgeslagen worden. Levensduur en oppervlakte van het groene areaal breidde zich uit en de evapotranspiratie van waterdamp was aanleiding tot enorme latente warmtestromen die voor afkoeling van klimaten leidde.