

### IN HET KORT

- Organismen in de bodem vormen met elkaar en met planten, complexe netwerken die van grote invloed zijn op het functioneren van het bodemecosysteem en op de heersende vegetatie.
- De interacties tussen organismen en planten bestaan uit verschillende soorten relaties, waaronder symbioses, saprotrofie (afbraak van organisch materiaal door bodemorganismen), predator-prooi relaties en coëxistentie. Iedere interactie tussen organismen vormt, en is onderdeel van, een netwerk.
- In natuurgraslanden blijkt de verhouding tussen actieve schimmels en bacteriën van groot belang voor het functioneren van het bodemecosysteem.
- Rondom de wortels van planten, de rhizosfeer, bestaan dynamische, dichte netwerken van organismen die worden "gerecruteerd" vanuit de omliggende minder actieve bodem.
- Het mycorrhizale netwerk tussen schimmels en planten hebben een complexe dynamiek die werkt als een "markt" met vraag en aanbod mechanismes.



# BODEMNETWERKEN

Bodemnetwerken worden gevormd door planten en het bodemleven van groot tot klein; regenwormen, duizendpoten en springstaarten, maar ook alle verschillende soorten aanwezige bacteriën en schimmels. Samen vormen al deze organismen met de planten een bodemnetwerk. Het netwerk is opgebouwd uit interacties, bijvoorbeeld positieve interacties tussen planten en stikstofbindende bacteriën. Stikstof wordt door deze bacteriën uit de lucht gehaald, waarna de stikstof wordt omgezet in voor de plant opneembare vorm. In ruil daarvoor krijgen de bacteriën bescherming en suikers van de plant om van te leven (zie infographic pagina 2). Andere relaties, zoals bijvoorbeeld parasitaire nematoden (kleine wormpjes) die wortels van planten binnendringen, kunnen de groei van de plant juist negatief beïnvloeden.

Interacties kunnen ook indirect zijn. Zo bepaalt de verteerbaarheid van het bladstrooisel van een boomsoort in grote mate de samenstelling en het functioneren van het bodemnetwerk. Alle interacties tussen organismen in de bodem, inclusief de planten(wortels), zijn onderdeel van een netwerk.

Veel bodemecologisch onderzoek heeft zich tot nu toe gericht op een beperkt spectrum aan interacties in de bodem (De Vries & Wallenstein 2017). Met name positieve interacties tussen organismen (symbioses) en de structuur van het klassieke bodemvoedselweb hebben veel aandacht gekregen, zonder deze per se te bezien als netwerken die onderdeel uitmaken van een groter geheel (Coleman et al 2017). Het lijkt erop dat er een nieuwe stroming binnen het bodemecologisch onderzoek aan het ontstaan is. De aandacht wordt door deze stroming verlegt van het bestuderen van

---

**“Alle interacties tussen organismen in de bodem, inclusief de planten(wortels) zijn onderdeel van een netwerk.”**

delen van het systeem, naar het systeem als geheel. De focus ligt daarbij minder op de diversiteit en aantallen soorten die in de bodem voorkomen, maar meer op de interacties tussen organismen als onderdeel van bodemnetwerken (De Vries & Wallenstein 2017, Coleman et al 2017). Deze andere manier van kijken levert nieuwe inzichten op over het functioneren van het bodemecosysteem.





“Zoals de moderne wereldhandel gevoelig is voor een beurscrash in New York, zo is ook een sterk verbonden rhizosfeer-netwerk gevoelig voor verstoringen.”



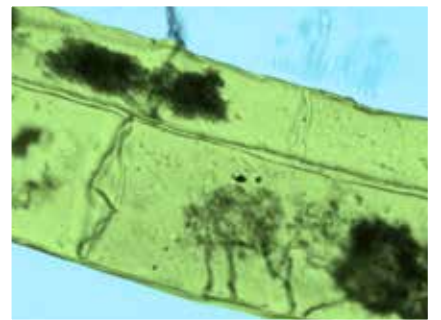
#### NEMATODE

Sommige soorten nematoden bezitten een naaldachtig monddeel waarmee ze een gaatje prikken in de wortel van de plant. Hiermee zuigen ze plantsap uit de plant. Ook een parasitaire interactie als deze maakt onderdeel uit van het bodemnetwerk.



#### WORTELKNOLLETJES

Bacteriën halen stikstof uit de lucht en zetten deze om in plant-beschikbare vorm. De plant maakt speciale knolletjes aan de wortel, waarin de bacteriën afgeschermd van de bodem kunnen leven. De plant levert energie in de vorm van suiker aan de bacterie in ruil waarvoor de bacterie de stikstof aan de plant levert.



#### AM-SCHIMMELS

Arbusculaire mycorrhizale schimmels dringen door in de cellen van de plantwortel. Ze maken daarin een “arbuscul” (het zwarte gedeelte binnenin de groene plantenwortel). Een arbuscul is een sterk vertakte structuur, waarin de overdracht van voedingsstoffen tussen de plant en de schimmel plaatsvindt.

## Actieve F/B ratio

Het functioneren van bodemnetwerken wordt mooi aangetoond in recent onderzoek van het Nederlands Instituut voor Ecologisch Onderzoek (NIOO-KNAW). In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een techniek waarbij zogeheten Koolstof-13 isotopen aan de plant worden “gevoerd”. Deze isotopen kunnen vervolgens door de plant en het bodemleven gevolgd worden. De route die de koolstof aflegt van de plant naar en door het bodemnetwerk wordt op deze manier zichtbaar gemaakt (Morriën et al 2017, Hannula et al 2017). Het NIOO-onderzoek richtte zich op graslanden die gevormd zijn van landbouw naar natuur. Nadat de percelen ingericht waren als natuur, bleek het aantal schimmels, na een relatief korte periode van sterke groei, niet verder toe te nemen. De actieve rol van schimmels in het bodemnetwerk daarentegen bleek wel verder toe te nemen.

Een steeds groter aandeel van de koolstof die door de plant wordt vastgelegd middels fotosynthese, wordt in de natuurgraslanden opgenomen en gebruikt door schimmels. Toen de percelen nog onderdeel van de landbouw waren, was deze rol voornamelijk voor bacteriën weggelegd.

Pas wanneer gekeken wordt naar de actieve rol die schimmels in het bodemnetwerk innemen wordt duidelijk dat de functionele rol van schimmels ten opzichte van bacteriën wel toeneemt. De klassieke F/B ratio (schimmel/bacterie verhouding), waar tot nu toe veel waarde aan wordt gehecht, blijkt minder belangrijk voor het functioneren van het bodemecosysteem, dan de actieve F/B ratio.

## Rhizosfeer netwerken

Rondom de wortels van planten bevindt zich de zogenaamde rhizosfeer. Dit is een zone van een paar millimeter rondom wortels waarin heel veel bodemorganismen leven. Samen met de planten vormt dit bodemleven een dynamisch en gespecialiseerd netwerk (De Vries & Wallenstein 2017).

De plant legt energie vast met behulp van fotosynthese in de vorm van suikers. In ruil voor deze energie helpen nuttige microben (zoals de reeds genoemde stikstofbindende bacteriën) de plant met het verkrijgen van voedingsstoffen (bijvoorbeeld sporenelementen en fosfaat). Ook helpen ze de plant bij het afweren van externe stressfactoren zoals droogte en ziekteverwekkers. Tegelijkertijd kunnen microben in de rhizosfeer de groei van planten ook negatief beïnvloeden, onder andere als concurrent om beperkte hoeveelheden voedingsstoffen of als ziekteverwekker (Fitzpatrick et al 2018).

De organismen in het rhizosfeer netwerk worden “gerecruiteerd” vanuit de omliggende statische en weinig actieve bodem. Hier bevinden de organismen zich veelal in rust in een voedselarme omgeving. In de rhizosfeer worden ze zeer actief, met een snelle vertering en snelle voortplanting (De Vries & Wallenstein 2017).

Bacteriën kunnen zich nauwelijks zelfstandig bewegen en zijn daardoor afhankelijk van externe mechanismen om zich te kunnen verspreiden. De lange draden waaruit schimmels bestaan, kunnen in het rhizosfeer netwerk fungeren als de “snelweg” waarlangs bacteriën zich richting de plant verplaatsen. Op eenzelfde wijze zorgen regenwormen voor de verplaatsing van bacteriën naar de rhizosfeer vanuit de omliggende bodem. De bacteriën liften mee in de slijmlaag die de regenworm om zich heen heeft.

Interacties zoals tussen de regenwormen en bacteriën zijn tot nu toe onderbelicht gebleven omdat ze niet werden gezien als onderdeel van netwerken. Wanneer het gehele bodemecosysteem beschouwd wordt als een collectie netwerken, of zelfs als één groot netwerk, wordt het mogelijk om het meeliften van een bacterie op de huid van een regenworm te zien als onderdeel van het opbouwen van een rhizosfeer netwerk.

---

**“Een steeds groter aandeel van de koolstof die door de plant wordt vastgelegd middels fotosynthese, wordt in de natuurgraslanden opgenomen en gebruikt door schimmels.”**

De recrutering van bodemorganismen vanuit de omliggende bodem in het rhizosfeer netwerk is voor een deel een door planten actief gestimuleerd proces (Schulz-Bohm et al 2018). Planten produceren een groot aantal (geur)stoffen, die ze uitscheiden via hun wortels om te kunnen communiceren met elkaar en met het bodemleven.

Het uitscheiden van bepaalde geurstoffen door de plant zorgt ervoor dat gunstige bacteriën van ver buiten de rhizosfeer zich richting de wortels verplaatsen. Deze bacteriën zorgen ervoor dat de infectie van de plant met een ziekteverwekkende schimmel minder grote gevolgen heeft. Onder voedselarme omstandigheden waarin de bacteriën “honger” hebben, begeven zij zich bovendien harder richting de plant.







*Via de slijmerige huid van regenwormen kunnen bacteriën grote afstanden afleggen en opgenomen worden in het rhizosfeer netwerk.*

Als gevolg van de grote dynamiek en verbondenheid tussen organismen, zijn rhizosfeer netwerken gevoelig voor invloeden van buitenaf. Zoals de moderne wereldhandel gevoelig is voor een beurscrash in New York, zo is ook een sterk verbonden rhizosfeer netwerk gevoelig voor verstoringen. Stikstofdepositie bijvoorbeeld kan voor een afname zorgen van het netwerk tussen gunstige schimmels en planten in de bodem. De plant heeft de schimmel minder hard nodig door deze extra bron van stikstof. Onbedoeld wordt de plant hierdoor gevoeliger voor droogte en ziekteverwekkers en krijgen andere delen van het netwerk te weinig voedsel via de schimmel aangeleverd. Dit heeft allerlei verschuivingen in het rhizosfeer netwerk en uiteindelijk ook in de vegetatie tot gevolg.

### Mycorrhizale Netwerken

Een heel belangrijk onderdeel van het bodemecosysteem vormt de symbiose tussen planten en zogenaamde mycorrhizale schimmels. Mycorrhiza, dat letterlijk “schimmelwortel” betekent, zijn schimmels die in plantenwortels doordringen. De plant wordt in feite geïnfecteerd door de schimmel, zonder ziek te worden. Ongeveer 90% van de plantensoorten op aarde werkt samen met deze schimmels. De symbiose is ontstaan toen de eerste waterplanten, zo’n 450 miljoen jaar geleden, het land op gingen en voedingsstoffen moesten zien te bereiken die tot dan toe in het water vrijelijk beschikbaar waren.

In graslanden speelt de symbiose met een bepaald type mycorrhiza schimmel, een bepalende rol in het bodemnetwerk. De schimmel levert voedingsstoffen, water en bescherming tegen ziekteverwekkers in ruil voor voeding van de plant. Ook functioneren de schimmels als een soort doorgeefluik voor signaalstoffen en suikers van de plant verder het bodemnetwerk in. Wanneer de symbiose bekeken wordt als onderdeel van een netwerk dan blijkt de dynamiek tussen de plant en de mycorrhiza complexer dan op het eerste gezicht lijkt (Bücking et al 2016).

Dit type schimmels is voor hun overleven afhankelijk van de plant, omdat ze zelf niet in staat zijn voldoende voedsel op te nemen. De schimmels krijgen suiker “gevoerd” door de plant in ruil voor fosfaat en andere voedingsstoffen die de schimmel juist weer beter uit de bodem kan halen dan de plant. Wanneer de plant zelf voldoende voedingsstoffen uit de bodem kan opnemen, heeft de plant geen voordeel meer van de symbiose met de schimmel (Jach-Smith & Jackson 2018). Het kost hem dan alleen maar energie, waardoor hij beter geen suiker meer aan de schimmel kan geven. De plant heeft dus schijnbaar een machtige, dominante positie ten opzichte van de schimmel.

Recent onderzoek laat zien dat de relatie gelijkwaardiger en stabiel is dan hierboven geschetst (Bücking et al 2016). De plant en schimmel zijn namelijk onderdeel van een zogenaamd mycorrhizaal netwerk, waarbij meerdere planten verbonden zijn met één schimmel en meerdere schimmels verbonden met één plant. Er is in het netwerk sprake van competitie tussen planten voor de diensten van de schimmels, omdat de schimmel kan kiezen aan welke plant geleverd wordt. Met andere woorden, de machtige positie van de plant tegenover de schimmel blijkt helemaal niet zo sterk omdat de schimmel nooit afhankelijk is van de grillen van één plant.

Deze “markt”, waarbij schimmels en planten met elkaar handelen volgens vraag en aanbod mechanismes, leidt tot een min of meer gelijkwaardige relatie tussen de partners in de symbiose. Dit kenmerk komt pas goed in beeld wanneer de symbiose bekeken wordt als onderdeel van een netwerk, net zoals de andere voorbeelden die in deze factsheet beschreven zijn.

## ADVIESLOKET BODEM & NATUUR

CURSUS • ONDERZOEK • ADVIES • UITVOERING HERSTELMAATREGELEN • MONITORING

### BRONNEN

Zie voor de complete literatuurlijst [www.bodemennatuur.nl/Factsheet](http://www.bodemennatuur.nl/Factsheet)